FÍSICA PROGRAMADA

VOLUMEN IV

TEORÍA CINÉTICA Y TERMODINÁMICA

JOSEPH
Y LEAHY

LIMUSA
WILEY

AUTORES

Alexander Joseph
Profesor Titular de Física,
Jefe de la División de Ciencias
y Matemáticas
College of Police Science of the
City University of New York

Daniel J. Leahy
Profesor de Matemáticas
Escuela de Estudios Generales
Hunter College, Nueva York.

FISICA PROGRAMADA

VOLUMEN IV: TEORIA CINETICA Y TERMODINAMICA

FISICA PROGRAMADA

VOLUMEN IV: TEORIA CINETICA Y TERMODINAMICA

Dr. Alexander Joseph

Profesor Titular de Ciencias.
Jefe de la División de Ciencias y Matemáticas, College of Police Science of the City University of New York.

Daniel J. Leahy

Profesor de Matemáticas,
Escuela de Estudios Generales,
Hunter College, Nueva York.

EDITORIAL LIMUSA-WILEY, S. A.
México **1973**

PROLOGO AL MAESTRO

Este volumen es el cuarto de una serie de cinco que constituyen el texto de un curso programado de física de un año; los precedentes: I, *Mecánica,* II, *Electricidad y Magnetismo* y III, *Optica y Ondas,* presentan el material que se suele impartir en los respectivos cursos introductorios de física. El volumen V, *Tópicos de Física Moderna,* constituye una introducción al estudio de la Física Cuántica y a la Física del Atomo y el Núcleo Atómico.

Esta serie de textos programados está destinada primordialmente para el último curso de bachillerato y el primero de Facultad. Creemos que, en especial, es útil y apropiada para estudiantes de humanidades o ciencias sociales y para los planes de estudios de los primeros años de licenciatura. Cada volumen de este curso se puede estudiar por separado; de hecho, numerosos estudiantes así lo han hecho con los ya publicados. De acuerdo con lo planeado y las pruebas realizadas, cada volumen se puede usar sin tener que consultar otro libro de texto y con sólo una supervisión mínima de parte del maestro. Por supuesto que cada volumen, también, se puede usar como suplemento de un texto convencional; en todo caso, siempre que sea posible, recomendamos que se complemente con demostraciones, discusiones y películas en el salón de clase y prácticas de laboratorio.

En este volumen de *Teoría Cinética y Termodinámica,* se supone que el estudiante posee los conocimientos de mecánica y la destreza en el manejo de símbolos y ecuaciones algebraicas, requeridos para aprobar el curso de álgebra intermedia. En la página 13 incluimos una prueba de estos conocimientos.

Para terminar, damos las gracias al personal de John Wiley & Sons que nos ayudó a preparar este volumen de *Física Programada* y, en especial, a la Srita. Judy Vantrease que leyó el manuscrito y, al igual que en los volúmenes anteriores de esta serie, nos brindó valiosas sugerencias con respecto a su programación; a las Sritas. Dorothy Garbose y Bryna Silverman que supervisaron la producción del manuscrito; al Sr. George Flohn y a los miembros del Departamento de Ilustraciones por la excelente ejecución de los diagramas.

ALEXANDER JOSEPH
DANIEL J. LEAHY

Nueva York, N. Y.

CONTENIDO

INSTRUCCIONES PARA EL ESTUDIANTE 11
PRUEBA DE REQUISITOS 13

CAPÍTULO UNO

La teoría cinética 17

1. Medición de la densidad; unidades; gravedad específica; densidad y peso específico 18
2. Presión; definición: $p = F/A$; presión hidrostática $p = \rho gh$; presión atmosférica; el barómetro; unidades de presión: cm de mercurio, atmósferas, N/m^2, $dina/cm^2$ 25
3. Medición de la temperatura; la escala de Celsius; expansión térmica 37
4. Propiedades observables de los gases 44
5. Las leyes de los gases; la ley de Boyle 50
6. Las leyes de los gases *(continuación)* 59
7. La teoría cinética de los gases 69
8. La teoría cinética *(continuación);* la ley y el número de Avogadro; la ley de Graham; la vcm de un gas; cambios de temperatura, expansión y compresión 82
9. Desviaciones con respecto a las leyes de los gases ideales; ajustes en la teoría cinética; la ecuación de estado de Van der Waals; el efecto Joule-Thomson y su explicación 93
10. Repaso y problemas 105
    PROBLEMAS 110

CAPÍTULO DOS

Calor y termodinámica 113

1. Temperatura, calor y trabajo; la primera ley de la termodinámica 113
2. Unidades de calor, calores específicos; cambios de fase 122
3. El equivalente mecánico del calor; aplicaciones de la primera ley de la termodinámica; procesos isobáricos, isocóricos y adiabáticos 135
4. Métodos de transferencia de calor: la conducción, la convección y la radiación 145

5. Máquinas térmicas; la máquina térmica de Carnot; eficiencia térmica 159
6. La entropía 168
7. Repaso y problemas 181
PROBLEMAS 190

ABREVIATURAS

Unidad	*Abreviatura*
metro(s)	m
centímetro(s)	cm
segundo(s)	seg
kilogramo(s)	kg
gramo(s)	g
kilómetro(s)	km
newton(s)	N
Joule(s)	J
libra(s)	lb
pulgada(s)	plg
atmósfera(s)	atm

INSTRUCCIONES PARA EL ESTUDIANTE

Este es un curso de física programado linealmente. Esto significa: 1) que las materias que trata un curso convencional de introducción a la física se analizaron y dividieron en una serie de pasos cortos y sencillos, y 2) que estos pasos se presentan en la forma que se ha encontrado ser la más conducente a un aprendizaje efectivo.

Cada paso se presenta en un párrafo llamado *cuadro*.* Cada cuadro presenta cierta cantidad de información y, en seguida, plantea una pregunta o un problema para que el estudiante los conteste o resuelva, con el objeto de verificar su comprensión, antes de continuar el programa. Escribirá sus respuestas a estas preguntas, ya sea en el espacio asignado para ello en el cuadro o por separado en una hoja de respuestas, según se lo indique el maestro.

Cuando haya escrito su(s) respuesta(s), podrá verificar su validez comparándola(s) con la(s) correcta(s) que se encuentra(n) debajo de la hilera de cinco asteriscos la cual indica el final de cada cuadro. Por ejemplo:

1. El metro es una unidad de longitud que contiene 39.37 *pulgadas*. Una longitud de dos metros tiene ..... pulgadas.
* * * * *
78.74

2. El metro se emplea para medir (peso/longitud/tiempo) y equivale a ..... pulgadas.
* * * * *
longitud; 39.37

Los *paneles* a que se hace referencia están al final del libro y se pueden desdoblar para fácil consulta, cuando el estudiante esté trabajando en ellos.

Se suministra una cubierta para que usted pueda ocultar la respuesta del cuadro en que esté trabajando y todos los cuadros subsecuentes de una página, hasta que haya escrito su respuesta y esté listo para verificarla, moviendo la cubierta hacia abajo para descubrir la respuesta correcta que se da debajo de los asteriscos.

* También se le llama *marco*.

PRUEBA DE CONOCIMIENTOS PARA TEORIA CINETICA Y TERMODINAMICA

Ponga en el espacio suministrado el número de la respuesta correcta. Si ninguna de las que se dan lo es, ponga "0".

1. A una masa de 25 kg se le aplica durante 12 segundos una fuerza de 10 N hacia el Oeste, produciéndole un desplazamiento de 5 m hacia el Oeste. El impulso aplicado es de:

1) 250 N-seg hacia el Oeste; 2) 120 N-seg hacia el Oeste; 3) 50 N-m; 4) 60 m-seg; 5) 300 kg-seg. 1. .....

2. En el problema anterior, el trabajo realizado por la fuerza es de:

1) 120 kg-m/seg hacia el Oeste; 2) 120 N-seg hacia el Oeste; 3) 50 joules; 4) 50 ergs; 5) 60 m-seg. 2. .....

3. La aceleración de la gravedad en la superficie de la Tierra o en su cercanía es aproximadamente de:

1) 98 pies/seg^2; 2) 98 m/seg^2; 3) 980 m/seg^2; 4) 9.8 pies/seg^2; 5) 9.8 m/seg^2. 3. .....

4. Una masa de 25 kg se mueve con una velocidad de 12 m/seg hacia el Este. Su energía cinética es de:

1) 300 joules; 2) 300 ergs; 3) 1800 joules; 4) 1 800 ergs; 5) 300 (kg-m)/seg hacia el Este. 4. .....

5. La cantidad de movimiento de la masa del problema anterior es de:

1) 300 kg-m/seg hacia el Este; 2) 300 joules; 3) 300 ergs; 4) 1 800 joules; 5) 1 800 ergs. 5. .....

6. Una masa de 5 gramos que se desplaza a 10 cm/seg hacia el Este choca con una pared y rebota con una velocidad de 10 cm/seg hacia el Oeste. La magnitud del cambio en la cantidad de movimiento de la masa es de:

1) cero; 2) 50 g-cm/seg; 3) 100 g-cm/seg; 4) 50 joules; 5) 20 cm/seg. 6. .....

7. La fuerza total que se aplica a cierta masa de 10 kg produce en su velocidad un cambio de 15 m/seg hacia el Oeste en 0.5 seg. La magnitud de la fuerza total es de:

1) 30 N; 2) 30 dinas; 3) 20 dinas; 4) 300 N; 5) 75 N; 6) 7.5 N. 7. .....

8. La arista de un cubo mide x cm. El área de una de las caras del cubo es de:

1) x cm^3; 2) $x^2 \times$ cm^3; 3) x^3 cm; 4) x^2 cm; 8. .....

9. La arista de un cubo mide y cm. El volumen del cubo es de:

1) y cm^3; 2) y^2 cm^3; 3) y^3 cm; 4) y^2 cm; 5) y^3 cm^3. 9. .....

10. Si $pV = NkT$, $N =$:

1) kT/pV; 2) $p(VT/k)$; 3) $pV - kT$; 4) pV/kT; 5) k/pV. 10. .....

11. Si $pV = NkT$, $T/p =$:

1) NkV; 2) Nk/V; 3) V/kN; 4) NV/k; 5) k/NV. 11. .....

12. Si $pV = NkT$ y $pV = nRT$, $n =$:

1) pV; 2) k; 3) R/k; 4) k/R; 5) RT. 12. .....

13. Si $N = \dfrac{(6 \times 10^{24})(4 \times 10^{-5})}{8 \times 10^{-5}}$, $N =$:

1) 3×10^{7}; 2) 3×10^{-7}; 3) 3×10^{31}; 4) 3×10^{-10}; 5) 3×10^{10}. 13. .....

14. Un área de 25 cm^2 equivale a:

1) 0.25 m^2; 2) 0.0025 m^2; 3) 2500 m^2; 4) 2.5 m^2. 14. .....

15. Un volumen de 25 cm^3 equivale a:

1) 2.5×10^{-5} m^3; 2) 2.5×10^{7} m^3; 3) 2500 m^3; 4) 0.0025 m^3. 15. .....

16. Sabemos que una cierta variable física representada por x es directamente proporcional al cuadrado de la variable t e inversamente proporcional a las variables p y v. La constante de proporcionalidad es k. ¿Cuál de las siguientes expresiones matemáticas representa esta relación?:

1) $x = \dfrac{k(pv)^2}{t}$; 2) $t^2 = kpu$; 3) $x = \dfrac{kt^2}{pv}$;

4) $x = kt^2 - kpv$.

CAPITULO 1

LA TEORIA CINETICA

OBJETIVOS:

Al terminar el estudio de este capítulo, el estudiante debe ser capaz de:

1. Definir y calcular densidades y gravedades específicas.
2. Definir y calcular la presión.
3. Describir el barómetro de mercurio.
4. Calcular presiones en cm de mercurio, atmósferas y N/m^2.
5. Describir la escala Celsius de temperatura; convertir lecturas Celsius a Kelvin y viceversa.
6. Resolver problemas que impliquen la expansión térmica de sólidos, líquidos y gases.
7. Describir las propiedades observables de los gases.
8. Definir la difusión.
9. Distinguir entre leyes y teorías.
10. Enunciar y emplear las leyes de Boyle, de Charles y la ley general de los gases.
11. Describir la teoría cinética de los gases; enunciar sus principales hipótesis.
12. Explicar en términos generales cómo se deducen, de las hipótesis de la teoría cinética, las leyes de los gases.
13. Enunciar la ecuación de estado para su gas ideal, tal como se deduce de la teoría cinética.
14. Enunciar el principio de Avogadro.
15. Calcular la velocidad cuadrática de las moléculas de un gas.
16. Enunciar la ley de Graham de la difusión.
17. Explicar, a partir de la teoría cinética, los cambios de temperatura que sufren los gases al expandirse o comprimirse.
18. Describir las condiciones bajo las cuales el comportamiento de los gases reales se aleja del de un gas ideal.
19. Describir las correcciones que deben hacerse a la teoría cinética para explicar sus divergencias con respecto al comportamiento de un gas ideal.

Sección 1. Medición de la densidad. Unidades. Gravedad específica. Densidad y peso específico.

1. Hay un antiguo acertijo que, en términos del sistema MKS, podríamos enunciarlo así: ¿Cuál tiene mayor masa (un kilogramo de plomo/un kilogramo de plumas/ninguno de los dos)?

* * * * *

ninguno de los dos (ambos tienen una masa de 1 kg).

2. La clave del acertijo está en que a pesar de tener masas iguales, hay cierta diferencia entre las dos substancias.

El centímetro cúbico (cm^3) es una unidad de (masa/peso/área/volumen). ¿Cuál tiene mayor masa: (100 cm^3 de aire/100 cm^3 de agua/ninguno de los dos)?

* * * * *

volumen; 100 cm^3 de agua.

3. Volúmenes iguales de aire y de agua tienen (la misma masa/masas diferentes). 1000 cm^3 de plomo tienen (la misma masa/el mismo volumen) que 1000 cm^3 de agua.

* * * * *

masas diferentes; el mismo volumen.

4. La experiencia nos indica que si tomamos volúmenes iguales de distintos materiales, es muy probable que éstos tengan masas (iguales/diferentes).

* * * * *

diferentes.

5. El comparar los volúmenes de dos substancias diferentes (es/no es) una buena comparación de sus masas.

* * * * *

no es.

6. En condiciones normales (es decir, sin comprimir las plumas), un kilogramo de plomo ocupa un volumen (mayor que el/menor que el/igual al) de un kilogramo de plumas.

* * * * *

menor que el.

7. Un kilogramo de agua ocupa un volumen (mayor/menor) que el de un kilogramo de acero a temperatura ambiente.

La clave que nos permite distinguir entre masas iguales de plomo y de plumas está en el hecho de que masas iguales de diferentes substancias (es/no es) probable que ocupen volúmenes *des*iguales.

* * * * *

mayor; es.

8. Refiérase al panel 1. La letra que está en la esquina superior derecha es una .....

* * * * *

T (si su respuesta no es correcta, se equivocó de panel).

9. Los científicos comparan diferentes materiales midiendo la masa contenida en volúmenes iguales de estos materiales. El volumen de cada una de las substancias comparadas en esta tabla es de ..... metros cúbicos (m^3).

* * * * *

10^{-3}

10. La segunda columna nos da la ..... de 10^{-3} m^3 de la substancia de la primera columna.

* * * * *

masa.

11. Panel 1. 10^{-3} m^3 de alcohol tiene una masa de ..... kg y ..... m^3 de oro tiene una masa de ..... kg.

* * * * *

0.79; 10^{-3}; 19.3.

12. Panel 1. 11.3 kg de plomo tienen el(la) mismo(a) ..... de 13.6 kg de mercurio. El panel 1 nos da los(las) ..... de distintas substancias contenidas en ..... iguales.

* * * * *

volumen; masas; volúmenes.

13. Panel 1. Los científicos llaman *densidad* de una substancia al cociente obtenido al dividir su masa entre la *unidad de volumen.*

La masa de 10^{-3} m^3 de alcohol es de 0.79 kg. El(la) ..... del alcohol es de $\frac{0.79 \text{ kg}}{10^{-3} \text{ m}^3}$ o bien 7.9×10^2 ..... *(unidades).*

* * * * *

densidad; kg/m^3.

14. La masa de 10^{-3} m^3 de hierro es de 7.1 kg. La densidad del hierro es de ..... *(número de unidades).*

* * * * *

$\frac{7.1 \text{ kg}}{10^{-3} \text{ m}^3} = 7.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.

15. Sea m la masa de una muestra de cierta substancia y V su volumen. Su densidad o ..... por unidad de ..... está dada por el cociente ..... (en función de m y V).

* * * * *

masa; volumen; m/V.

16. Usaremos la letra griega ro (ρ) para representar la densidad. La densidad es una propiedad de una muestra de materia, definida en palabras como ..... En símbolos: $\rho =$ .....

* * * * *

masa entre unidad de volumen; m/V.

17. Cuando la masa de una muestra se mide en kg y el volumen en m^3, la densidad se calcula en ..... Si la masa de una muestra se mide en g y el volumen en cm^3, la densidad se calcula en .....

* * * * *

kg/m^3; g/cm^3.

18. 790 g de alcohol tienen un volumen de 1000 cm^3. La densidad del alcohol es de ..... g/cm^3.

* * * * *

$\frac{790 \text{ g}}{1000 \text{ cm}^3} = 0.79 \text{ g/cm}^3$.

19. Panel 1. Con los datos que se dan en la segunda y tercera columnas, calcule la densidad del mercurio en g/cm^3.

* * * * *

13.6 kg = 13,600 g.

10^{-3} m^3 = 1000 cm^3.

$$\rho = \frac{13{,}600 \text{ g}}{1000 \text{ cm}^3} = 13.6 \text{ g/cm}^3.$$

20. Las unidades que empleemos para expresar la densidad de una substancia dependen de las que usemos para medir la ..... y el ..... de una muestra de tal substancia.

* * * * *

masa; volumen.

21. Una muestra de aire ocupa un volumen de 1 litro (= 1,000 cm^3) y tiene una masa de 1.293 g. Su densidad es de 1.293 ..... (unidades).

* * * * *

$$\frac{m}{V} = \frac{1.293 \text{ g}}{1 \text{ litro}} = 1.293 \text{ g/litro}.$$

22. Al comparar un material con otro es conveniente usar propiedades físicas como la densidad, que pueden expresarse en diferentes unidades. Es posible formar una escala comparativa de densidades que no tenga unidades como se indica a continuación.
Suponga que comparamos la densidad del hierro (ρ_{hierro}) en g/cm^3 con la densidad del agua (ρ_{agua}), en las mismas unidades.

$\frac{\rho_{\text{hierro}}}{\rho_{\text{agua}}} =$ ———— *(Use los datos del panel 1; cancele unidades donde sea posible y simplifique).*

* * * * *

$\frac{7.1 \text{ gr/cm}^3}{1 \text{ gr/cm}^3} = 7.1$ *(Observe que las unidades se anulan completamente).*

23. Panel 1. Compare la densidad del hierro en kg/m^3 con la densidad del agua en kg/m^3. $\frac{\rho_{\text{hierro}}}{\rho_{\text{agua}}} =$ ————.

* * * * *

$$\frac{7.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3}{10^3 \text{ kg/m}^3} = 7.1$$

24. El valor que obtenemos al comparar la densidad de una substancia, con la *densidad del agua* (ambas medidas con las mismas unidades), se llama *gravedad específica* de esa substancia.
La gravedad específica de la mantequilla es de .....

* * * * *

$\rho_{\text{mantequilla}} = 8.7 \times 10^2$ kg/m^3, o bien 0.87 g/cm^3.

$\rho_{\text{agua}} = 10^3$ kg/m^3, o bien 1 g/cm^3.

Gravedad específica de la mantequilla $= \dfrac{8.7 \times 10^2 \text{ kg/m}^3}{10^3 \text{ kg/m}^3}$, o también

$$\frac{0.87 \text{ g/cm}^3}{1 \text{ g/cm}^3} = 0.87.$$

25. La gravedad específica (tiene unidades de masa/tiene unidades de volumen/tiene unidades de densidad/no tiene unidades).

* * * * *

no tiene unidades.

26. Una muestra de una substancia tiene una masa de 39 g y ocupa un volumen de 13 cm^3. Calcule su densidad y su gravedad específica.

* * * * *

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{39 \text{ g}}{13 \text{ cm}^3} = 3 \text{ g/cm}^3.$$

$$\text{gravedad específica} = \frac{\rho}{\rho_{\text{agua}}} = \frac{3 \text{ g/cm}^3}{1 \text{ g/cm}^3} = 3.$$

27. Definimos en palabras la densidad como .....
La gravedad específica es un número (con/sin) unidades que compara la(el) ..... de una substancia dada, con la(el) ..... del .....

* * * * *

masa entre unidad de volumen; sin; densidad; densidad; agua.

28. Panel 1. Refiérase a la sexta columna. El oro es ..... veces más denso que el agua. La leche es ..... veces más densa que el agua.

* * * * *

19.3; 1.029.

29. Se nos dice que la gravedad específica de cierta substancia es de 2.5; esto significa que su densidad es ..... veces la del ..... La densidad de esta substancia particular es de ..... kg/m^3, o de ..... g/cm^3.

* * * * *

2.5; agua; 2.5×10^3; 2.5.

30. Panel 1. Una muestra de oro tiene un volumen de 2 cm^3. Calcule su masa.

* * * * *

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

19.3 g/cm^3 $= m/2$ cm^3.

$m = (19.3 \text{ g/cm}^3)(2 \text{ cm}^3) = \mathbf{38.6 \text{ g}}$.

31. Panel 1. Una muestra de corcho tiene una masa de 20 g. Calcule su volumen.

* * * * *

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

0.25 g/cm^3 $= 20$ g/V.

$$V = \frac{20 \text{ g}}{0.25 \text{ g/cm}^3} = \mathbf{80 \text{ cm}^3}.$$

32. A la densidad, definida como *masa* entre unidad de volumen, se le suele llamar *densidad específica* de una substancia. Cuando empleamos el *peso* entre unidad de volumen como medida de la densidad, la llamamos *peso específico.*

Una masa de 3 g pesa 2,940 dinas y ocupa un volumen de 1.5 cm^3. Calcule su *peso específico.*

* * * * *

$$\frac{2940 \text{ dinas}}{1.5 \text{ cm}^3} = 1960 \text{ dinas/cm}^3.$$

33. Sea una masa m: Su *peso,* en un punto donde el campo gravitacional (o aceleración de la gravedad) es g, está dado por la expresión .....

* * * * *

mg.

34. La *densidad específica* de una substancia está dada por el cociente ..... El peso de m está dado por la expresión ..... *El peso específico* de una substancia se encuentra por la expresión .....

* * * * *

$\frac{m}{V}$; mg; $\frac{mg}{V}$.

35. Definimos el peso específico de una substancia, como su ..... entre unidad de .....

Sea ρ = densidad = m/V. Puesto que el peso específico = $\frac{m}{V}$g, el *peso específico* es el producto de la .... por la aceleración de la gravedad.

* * * * *

peso (entre unidad de) volumen; densidad específica.

36. En función de la masa, el volumen y la aceleración de la gravedad, peso específico = ... *(use símbolos).*
En función de la densidad y de la aceleración de la gravedad, peso específico = ... *(use símbolos).*

* * * * *

$\frac{mg}{V}$; ρg.

37. La aceleración de la gravedad (g) sobre o cerca de la superficie de la Tierra es de ..... N/kg, o de ..... dinas/g.
(Si ha olvidado Ud. el valor de g, vea el protector para ocultar.)

* * * * *

9.8; 980.

38. Panel 1. El peso específico del corcho es de .....
o bien de ..... *(números y unidades).*

* * * * *

En cualquier orden: $\rho g = (2.5 \times 10^2 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ N/kg}) = 24.5 \times 10^2 \text{ N/m}^3$

$\rho g = (0.25 \text{ g/cm}^3)(980 \text{ dinas/g}) = 245 \text{ dinas/cm}^3$.

39. 500 gramos de cierta substancia ocupan un volumen de 100 cm³. Calcule su densidad *masa* y su densidad *peso.*

* * * * *

Densidad masa: $\rho = \dfrac{m}{V} = \dfrac{500\ \text{g}}{100\ \text{cm}^3} = 5\ \text{g/cm}^3$.

Densidad peso $= \rho g = (5\ \text{g/cm}^3\ (980\ \text{dinas/g}) = 4\,900\ \text{dinas/cm}^3$.

40. En este texto, siempre que mencionemos densidad nos estaremos refiriendo a la masa entre unidad de volumen, que es la densidad ..... de la substancia bajo consideración.

* * * * *

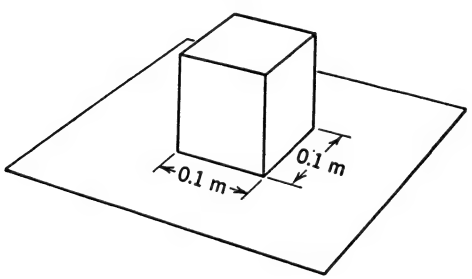
específica.

Sección 2. *Presión:* $p = F/A$.
Presión hidrostática: $p = \rho gh$.
Presión atmosférica.
El barómetro.
Unidades de presión: cm de mercurio, atmósferas.
N/m^2, dina/cm^2.

1. Definimos la presión como el cociente:

$$\frac{\textit{magnitud de la fuerza perpendicular aplicada}}{\textit{unidad de área}}$$

En la figura que se muestra a continuación el peso del cubo es de 10 N y descansa en una superficie horizontal. La componente del peso, perpen-

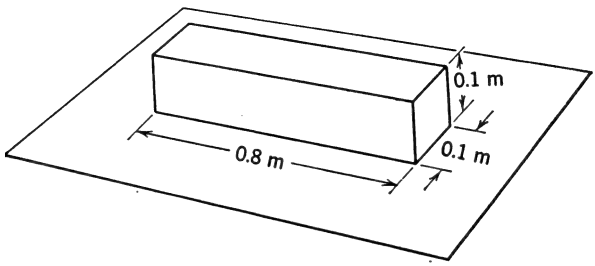


discular a la superficie es de ..... N; el área sobre la que se aplica es de ..... m^2. La presión que ejerce el bloque en la superficie es de .....N/m^2.

* * * * *

10; 0.01; $\dfrac{10\ \text{N}}{0.01\ \text{m}^2} = 1000\ \text{N/m}^2$.

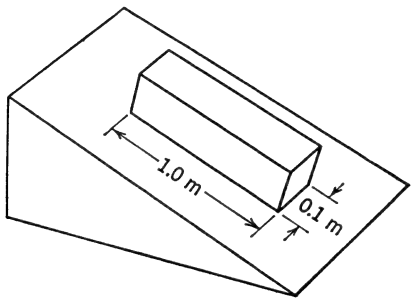
2. Este objeto pesa 10 N y descansa sobre una superficie horizontal. Calcule la presión que ejerce sobre la superficie.



* * * * *

El peso es perpendicular a la superficie; el área sobre la que se aplica es de 0.08 m^2. Por lo tanto, presión $= \dfrac{10\ N}{0.08\ m^2} = 125\ N/m^2$.

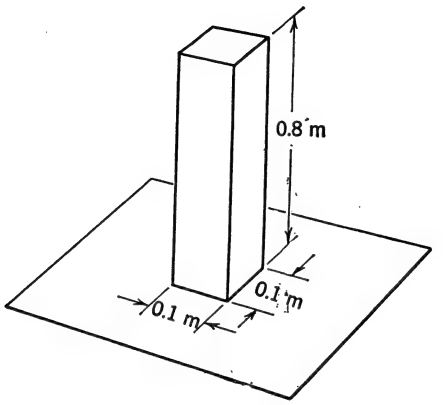
3. Este bloque pesa 10 N. La componente del peso, perpendicular a la superficie (que no es horizontal) es de 8 N. Calcule la presión que ejerce en la superficie.



* * * * *

$\dfrac{8\ N}{0.1\ m^2} = 80\ N/m^2$.

4. Aquí ilustramos el objeto del cuadro 2 sobre la misma superficie horizontal pero descansando en otra de sus caras. Su peso es de 10 N. Calcule la presión que ejerce en la superficie.



* * * * *

La fuerza perpendicular a la superficie (horizontal) es de 10 N, tal como en el cuadro 2, pero aquí el área sobre la que se aplica es de 0.01 m^2. Por lo tanto, la presión es de $\frac{10\ N}{0.01\ m^2} = 1000\ N/m^2$.

5. Suponga que se aplica una fuerza de 0.8 N perpendicularmente a un área de 0.2 m^2. La presión aplicada por la fuerza es de ..... N/m^2. Ahora suponga que se aplica la misma fuerza perpendicularmente a un área de 0.4 m^2; la presión es de ..... N/m^2.

* * * * *

$\frac{0.8\ N}{0.2\ m^2} = 4\ N/m^2$; $\frac{0.8\ N}{0.4\ m^2} = 2\ N/m^2$.

6. Definimos la presión como el cociente:

$$\frac{\textit{magnitud de la fuerza} \ldots\ldots \textit{aplicada}}{\textit{unidad de} \ldots\ldots}$$

* * * * *

perpendicular; área.

7. A menos que se especifique lo contrario, en este capítulo supondremos que la fuerza que se aplica a una superficie es perpendicular a ella. Con esto en mente, podemos definir la ..... como el cociente de ..... entre .....

* * * * *

presión; fuerza; área.

8. La (densidad/presión) se define como masa entre unidad de volumen; la (densidad/presión) se define como fuerza entre unidad de área.

* * * * *

densidad; presión.

9. Sea F la magnitud de una fuerza y A el área de la superficie sobre la que se distribuye la fuerza. Una fórmula que define la presión (p) es la siguiente:

$p =$ .....

* * * * *

$$\frac{F}{A}.$$

10. La presión que ejerce una fuerza sobre un área determinada es (directamente/inversamente) proporcional al área y (directamente/inversamente) proporcional a la fuerza.

* * * * *

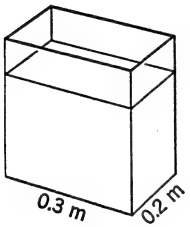
inversamente; directamente.

11. Cuando un sólido descansa sobre una superficie horizontal, la fuerza que ejerce sobre ella es la de su .....

* * * * *

peso.

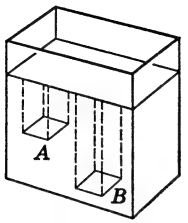
12. Los líquidos también ejercen presiones. El peso del líquido contenido en este recipiente es de 12 N. La presión que ejerce en el fondo del recipiente es de ..... N/m^2.



* * * * *

$$\frac{12\ \text{N}}{0.06\ \text{m}^2} = 200\ \text{N/m}^2.$$

13. Un líquido ejerce presiones dentro de sí mismo, así como sobre el fondo y los lados del recipiente que lo contiene. El peso de la columna de líquido que está sobre *A* es (mayor que/menor que/igual a) el peso de



la columna de líquido que está sobre *B*. Es lógico suponer que si escogemos dos puntos bajo la superficie de un líquido, a diferente profundidad, la presión en el punto más lejano a la superficie sea (mayor/menor).

* * * * *

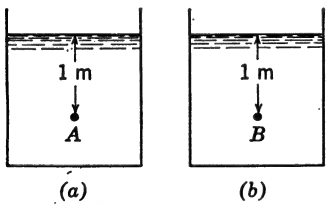
menor que; mayor.

14. La presión ejercida en cualquier punto dentro de un líquido es (directamente/inversamente) proporcional a su profundidad dentro del líquido.

* * * * *

directamente (esto es estrictamente cierto para líquidos estacionarios; la dinámica de líquidos en movimiento no se estudia en este texto).

15. El punto *A* está a 1 metro bajo la superficie del líquido (agua) en el recipiente (*a*). El punto *B* está a 1 metro bajo la superficie del líquido (alcohol) en el recipiente (*b*).



Verifique en el panel 1 las densidades relativas del agua y el alcohol. Debemos suponer que la presión en (*A*/*B*) es mayor. ¿Por qué?.

* * * * *

A (El agua es más densa que el alcohol, por lo tanto, la masa y el peso del líquido que está sobre el nivel de *A* son mayores que la masa y el peso del líquido sobre *B*).

16. Por lo tanto, la presión ejercida en cualquier punto dentro de un líquido es directamente proporcional a (1) la ..... del punto y (2) a la ..... del líquido.

* * * * *

profundidad; densidad.

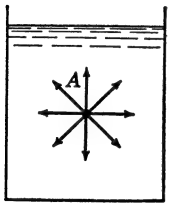
17. Para calcular la presión en un punto bajo la superficie de un líquido, calculamos el producto del peso específico (ρg) por la profundidad (h): ρgh. Calcule la presión (en newtons sobre metro cuadrado) en un punto a 3 metros bajo la superficie de un depósito de agua.

* * * * *

$p = \rho gh$; $h = 3$ m; $\rho = 10^3$ kg/m^3; $g = 9.8$ N/kg.

$p = (10^3 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ N/kg})(3 \text{ m}) = 3.94 \times 10^4 \text{ N/m}^2$.

18. La experimentación también indica que la presión en cualquier punto dentro de un líquido es la misma en *todas* direcciones. Esto significa que la presión hacia la derecha en el punto A está dada por la ecuación $p =$ .....



* * * * *

ρgh.

19. Calcule la presión *hacia arriba* ejercida en un punto a 0.25 m bajo la superficie de un depósito de agua.

* * * * *

$p = \rho gh = (10^3 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ N/kg})(0.25 \text{ m}) = 2.45 \times 10^3 \text{ N/m}^2$.

20. Use los datos del cuadro 19 para calcular las presiones ejercidas hacia abajo, hacia la derecha y hacia la izquierda.

* * * * *

2.45×10^3 N/m^2 en *todas* direcciones.

21. Panel 1. Calcule la presión en un punto a 0.1 m bajo la superficie de un depósito de *mercurio*.

* * * * *

$p = \rho gh = (1.36 \times 10^4 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ N/kg})(0.1 \text{ m}) = 1.33 \times 10^4 \text{ N/m}^2$.

22. No obstante que los gases bajo condiciones ordinarias tienen masas pequeñas si se les compara con volúmenes iguales de substancias sólidas o líquidas, esa masa existe. Por lo tanto, un gas (tiene/no tiene) peso y (ejerce/no ejerce) presión.

* * * * *

tiene; ejerce.

23. La experimentación indica que lo que es válido para la presión hidrostática también lo es, en general, para los gases. Esto significa que la presión en cualquier punto de un gas es (mayor hacia abajo/mayor hacia arriba/igual en todas direcciones).

* * * * *

igual en todas direcciones.

24. Los líquidos son prácticamente *incompresibles,* por lo tanto, la densidad de un líquido en el fondo del recipiente que lo contiene es (mayor que/menor que/igual a) su densidad en la superficie.

* * * * *

igual a.

25. Los gases son compresibles. El gas en el fondo de un depósito está un poco más comprimido debido al peso del gas que está sobre él. El gas en el fondo de un depósito es algo (más/menos) denso que el gas en la superficie.

* * * * *

más.

26. En gases almacenados en recipientes ordinarios, esta variación de la densidad con la profundidad es muy pequeña y en la mayoría de los casos se puede despreciar. Por otra parte, el campo gravitacional de la Tierra actúa como un enorme recipiente para esa mezcla de gases que llamamos atmósfera. Este "recipiente" es en extremo profundo (probablemente de miles de kilómetros). Por lo tanto, la variación de la ..... con la profundidad en la atmósfera puede ser apreciable.

* * * * *

densidad.

27. La ecuación $p = \rho gh$ se aplica a los líquidos y a los gases; de ahí que la presión ejercida por la atmósfera en cualquier punto dentro de ella depende de la ..... del punto dentro de la atmósfera,

de la ..... de la atmósfera en ese punto y de la magnitud de la ..... en ese punto.

* * * * *

profundidad; densidad; gravedad.

28. Sin embargo, no podemos aplicar esta ecuación *directamente* a la atmósfera (como lo hacemos con los líquidos) porque tanto la ..... de la atmósfera como la ..... cambian al cambiar h en la ecuación.

* * * * *

densidad; gravedad.

29. Se ha encontrado más fácil determinar *experimentalmente* la presión ejercida por la atmósfera. Esto lo realizó por primera vez Torricelli, cuyo procedimiento se describe en el panel 2. La letra que está en la esquina superior derecha del panel 2 es una .....

* * * * *

R.

30. Panel 2. Examine las figuras y lea los párrafos descriptivos. En el experimento de Torricelli, un tubo de aproximadamente ..... cm de largo está lleno de .....

* * * * *

100; mercurio.

31. Panel 2. Cuando se invierte el tubo de mercurio y se coloca el extremo abierto bajo la superficie del mercurio que está en un recipiente de boca ancha como la que se ve en la figura, el mercurio desciende hasta aproximadamente ..... cm sobre el nivel del mercurio del recipiente.

* * * * *

76 *(el espacio que queda dentro del tubo, arriba del mercurio, contiene únicamente pequeños restos de mercurio y constituye un buen vacío).*

32. Panel 2. En la Fig. 2 los puntos A y B están a un mismo nivel. La presión hacia abajo que el mercurio dentro del tubo ejerce sobre A es igual a la presión hacia abajo que (el mercurio/la atmósfera) ejerce sobre B.

* * * * *

la atmósfera.

33. Panel 2. La presión en A es ocasionada por el peso del ..... que está dentro del tubo y sobre A.

* * * * *

mercurio.

34. Panel 2. Podemos medir la presión en $A(p_A)$, si conocemos la ..... de A bajo la superficie del mercurio del tubo y la ..... del mercurio.

* * * * *

profundidad; densidad.

35. Panel 2. En A, $h =$ ..... cm = ... m; $g =$ ..... N/kg y $\rho =$ .....kg/m^3 (refiérase al panel 1). Calcule p_A.

* * * * *

76 cm = 0.76 m.

9.8

1.36×10^4.

$p_A = \rho gh = (1.36 \times 10^4\ \text{kg/m}^3)(9.8\ \text{N/kg})(0.76\ \text{m}) = 1.01 \times 10^5\ \text{N/m}^2$

36. Panel 2. La presión en B es ocasionada por el peso de ..... sobre ese punto. Puesto que $p_A = p_B$ es ocasionada por el peso de .... sobre ese punto. Puesto que $p_A = p_B$, la presión de la atmósfera es de ..... N/m^2.

* * * * *

la atmósfera (el aire); 1.01×10^5.

37. El experimento de Torricelli nos proporciona un método conveniente para medir la presión atmosférica. Este método mide la presión atmosférica en un punto dado, midiendo la ..... de una columna de ..... que ejerce una presión igual a la que ejerce la atmósfera.

* * * * *

altura; mercurio.

38. Panel 2. Este experimento en particular se realiza al nivel del mar. Al nivel del mar, la altura de la columna de mercurio es de ..... cm. Decimos que una columna de mercurio de esta longitud ejerce una presión de *una atmósfera* (atm). Una presión de una atmósfera equivale a ..... N/m^2.

* * * * *

76; 1.01×10^5.

39. Los científicos también usan "centímetros de mercurio" como medida de presión. 76 cm de mercurio es una presión de 1 ..... o sean ..... N/m^2.
* * * * *

atmósfera; 1.01×10^5.

40. Panel 2. Cuando se emplea el dispositivo mostrado en este panel para medir presión *atmosférica,* se le llama *barómetro.* Si la altura del mercurio en un barómetro en cierto lugar y a determinada hora es de 75.2 cm, decimos que la presión ..... en ese lugar y a esa hora es de ..... cm de .....
* * * * *

atmosférica; 75.2; mercurio.

41. El dispositivo que se emplea para medir presión atmosférica se llama .....
* * * * *

barómetro.

42. El barómetro se puede calibrar en centímetros, milímetros o pulgadas. Un barómetro de mercurio mide la .... en cm, mm o pulgadas de .....
* * * * *

presión atmosférica; mercurio.

43. "cm de mercurio", "mm de mercurio", "atmósferas", "N/m^2" y "$dinas/cm^2$" son unidades que se pueden emplear para medir .....
* * * * *

presión ("presión atmosférica" también es una respuesta correcta, pero puesto que estas unidades son intercambiables, cualquiera de ellas se puede usar para medir presión en general).

44. 76 cm de mercurio = ... mm de mercurio = ... atm = ... N/m^2.
* * * * *

760; 1; 1.01×10^5.

45. 76 cm de mercurio = 1 atm.
38 cm de mercurio = ... atm.
152 cm de mercurio = ... atm.
* * * * *

0.5; 2.

46. 0.2 atm = ... cm de mercurio
5 atm = ... N/m^2.

* * * * *

1 atm = 76 cm de mercurio
0.2 atm = 0.2(76) cm de mercurio
= 15.2 cm de mercurio;
1 atm = 1.01×10^5 N/m^2
5 atm = $5(1.01 \times 10^5$ $N/m^2)$
= 5.05×10^5 N/m^2.

47. Panel 2. La altura del mercurio dentro del tubo depende de la presión que ejerza la atmósfera sobre el mercurio del recipiente, fuera del tubo. A su vez, esta presión depende de la ..... a que se encuentre todo el dispositivo dentro de la atmósfera.

* * * * *

profundidad.

48. Suponga que tomamos un barómetro de mercurio y lo llevamos de la base a la cima de una montaña. En la cima, la presión atmosférica que empuja hacia abajo al mercurio que está fuera del tubo es (mayor/menor) que la que hay en la base de la montaña. Esto significa que el mercurio dentro del tubo del barómetro debe estar más (arriba/abajo) cuando está en la cima de la montaña que cuando está en la base de la misma.

* * * * *

menor; abajo.

49. Cierto día el barómetro indica 75.8 cm de mercurio al nivel del mar. Al llevarlo a diversos puntos sobre el nivel del mar debemos esperar una lectura un poco más (alta/baja). Al llevarlo a puntos cada vez más abajo del nivel del mar (como en el pozo de una mina), debemos esperar que sus lecturas sean un poco más (bajas/altas).

* * * * *

baja; altas.

50. Podemos esperar que las lecturas barométricas cambien, siempre que cambiemos la ..... del barómetro sobre o bajo el nivel del mar.

* * * * *

posición.

51. También podemos esperar que cambie la lectura de un barómetro cuando cambia la ..... de la atmósfera.

* * * * *

densidad.

52. La densidad de la atmósfera cambia localmente en cierto grado al cambiar su contenido de *vapor de agua.* Podemos emplear un ..... para estimar la cantidad de humedad en el aire.

* * * * *

barómetro.

53. Suponga que se mantiene un barómetro a una altura constante sobre el nivel del mar. Si el barómetro comienza a subir, esto indica que la densidad media del aire en esa localidad está (aumentando/disminuyendo).

* * * * *

aumentando.

54. Se puede demostrar que la densidad media de la atmósfera disminuye al aumentar su contenido de vapor de agua. Un barómetro estacionario y cuyo nivel de mercurio desciende, indica (un aumento/una disminución en la densidad media de la atmósfera y (un aumento/una disminución) en su contenido de vapor de agua.

* * * * *

una disminución; un aumento.

55. Un barómetro estacionario y cuyo nivel de mercurio asciende, usualmente indica (un aumento/una disminución) en el contenido de vapor de agua de la atmósfera.

* * * * *

una disminución.

56. La humedad del aire a menudo se condensa formando nubes. Un barómetro que asciende nos hace esperar cielos (despejados/nublados). Un barómetro que desciende a menudo precede a cielos (despejados/nublados). Un día con humedad en constante aumento probablemente indicará un barómetro (ascendente/descendente).

* * * * *

despejados; nublados; descendente.

57. En los reportes del tiempo se dan las lecturas del barómetro porque son útiles para pronosticar .... *(complete).*
* * * * *

la cantidad de humedad en el aire, la humedad, lo nublado o falta de nubes, etcétera.

Sección 3. Medición de la temperatura. La escala de Celsius. La expansión térmica.

1. Los científicos emplean una escala de temperatura que tiene su punto *cero en la temperatura de fusión del hielo*; está graduada en unidades llamadas *grados Celsius* (°C). La temperatura de fusión del hielo es de ..... grados Celsius.
* * * * *

cero, (0).

2. En la escala de temperatura de Celsius, el punto de ebullición del agua pura cuando la presión atmosférica es de 76 cm de mercurio está a los 100 grados ..... En esta escala, la temperatura de .... está a los cero grados .....
* * * * *

Celsius; fusión del hielo; Celsius.

3. En este curso emplearemos el símbolo "°C" para representar las palabras "grados de Celsius" que seguirán a una lectura de temperatura en la escala Celsius. El símbolo "C°" lo usaremos para indicar la *diferencia* entre dos lecturas específicas tomadas sobre la escala Celsius.

En la escala de Celsius la temperatura de ebullición del agua es de 100 ..... (use símbolos). La *diferencia* entre el punto de fusión del hielo y el de ebullición del agua, en esta misma escala, es de 100 ..... (use símbolos). (Por esta razón a la escala de Celsius a menudo se le llama "centígrada".)
* * * * *

°C; C°.

4. Empleamos (°C/C°) para expresar una lectura de temperatura. Usamos (°C/C°) para denotar una diferencia entre dos lecturas de temperatura.
* * * * *

°C; C°.

5. Hay temperaturas más altas que la del punto de ebullición del agua y más bajas que la de fusión del hielo. Por ejemplo, la sal común de mesa se funde a 700 C° arriba del punto de ebullición del agua. En la escala de Celsius el punto de fusión de la sal de mesa es de ..... (use símbolos). El mercurio se solidifica a 39 C° bajo cero; su punto de fusión es de ..... *(use símbolos).*

* * * * *

800 °C; —39 °C.

6. En la escala Celsius, el intervalo entre el punto de fusión del mercurio y el punto de fusión de la sal de mesa es de ..... *(use símbolos).*

* * * * *

839 C° *(no* °C).

7. Una de las razones en que se funda una escala de temperatura como la Celsius, que emplea puntos característicos como el de fusión del hielo y el de ebullición del agua es que los cambios de temperatura producen cambios predecibles en las propiedades físicas de la mayoría de las substancias. Uno de estos cambios es la expansión: cuando aumenta la temperatura, observamos que la longitud de la columna de mercurio del termómetro (aumenta/disminuye); esto se debe a que al aumentar la temperatura el mercurio se (expande/contrae). El hecho de que las marcas en un termómetro de mercurio estén espaciadas *uniformemente* obedece a la hipótesis de que un cambio de temperatura se relaciona en forma (regular/irregular) con un cambio en el nivel de la columna de mercurio.

* * * * *

aumenta; expande; regular.

8. La mayoría de las substancias (no todas) se expanden al aumentar su temperatura y se contraen cuando disminuye. La mayoría de las substancias se asemejan al mercurio en cuanto a que su expansión o contracción con un cambio de temperatura que (es directamente proporcional/no se relaciona) a la magnitud del cambio de temperatura.

* * * * *

es directamente proporcional.

9. Sea l_1 la longitud de una varilla de metal a la temperatura T_1. Cuando se calienta la varilla a una temperatura T_2, se dilata o expande hasta una longitud l_2.

Sea Δl el cambio de longitud. En símbolos, $\Delta l =$ .....
Δl corresponde a un cambio de temperatura $\Delta T =$ .....

* * * * *

$l_2 - l_1$; $T_2 - T_1$.

10. La cantidad Δl es la *dilatación lineal* debida a un aumento de temperatura ΔT. La experimentación indica que Δl es directamente proporcional no sólo a ΔT sino también a la longitud original l_1. Esto significa que una varilla de cobre de 50 cm de largo debe dilatarse .... veces más que otra varilla del mismo material, de 5 cm de largo, con el mismo cambio de temperatura.

* * * * *

10.

11. Use la letra griega alfa (α) como constante de proporcionalidad y escriba una ecuación para Δl, en función de l_1, ΔT y α. (Recuerde que Δl es directamente proporcional a ΔT y a l_2.)

* * * * *

$\Delta l = \alpha l_1 \Delta T$.

12. Despeje α en $\Delta l = \alpha l_1 \Delta T$: $\alpha =$ .....

* * * * *

$$\frac{\Delta l}{l_1 \Delta T}$$

13. α se llama coeficiente de dilatación lineal; representa el incremento en cualquier dimensión (largo, ancho, grueso, radio, circunferencia, etc.) por grado Celsius de aumento de temperatura. Se determina experimentalmente para cada substancia.

Una muestra de alambre tiene 100.00 cm de largo a 20 °C y 100.03 cm de largo a 120 °C. Calcule su coeficiente de expansión lineal.

En una muestra de 1 pulgada de largo de este alambre, un aumento de temperatura de 1 C° producirá una expansión de ..... plg.

* * * * *

$$\alpha = \frac{(100.03 - 100.00)\text{cm}}{(100.00\ \text{cm})(100\ \text{C°})}$$

$$= \frac{0.03\ \cancel{\text{cm}}}{(100.00\ \cancel{\text{cm}})(100\ \text{C°})} = 3 \times 10^{-6}/\text{C°}$$

(Note la ausencia de unidades lineales en el valor de α, lo que significa que esta constante se puede usar en cualquier sistema de unidades.)

$$\Delta l = \alpha l_1 \Delta T = \left(\frac{0.000003}{\text{C}^\circ}\right)(1 \text{ plg})(1 \text{ C}^\circ) = 0.000003 \text{ plg}.$$

14. *Cualquier* dilatación que tenga lugar como resultado de un cambio de temperatura se llama expansión *térmica.* La dilatación lineal de un metal cuando se calienta de 100 a 200 °C (es/no es) un ejemplo de expansión térmica.

* * * * *

es.

15. La mayoría de los sólidos también se expanden en área y en volumen cuando se eleva su temperatura. La expansión lineal, del área y del volumen debida a cambios de temperatura se llama, en general, expansión .....

* * * * *

térmica.

16. Refirámonos al panel 3. Se trata de una tabla de valores experimentales para los ..... de diversas substancias. La parte *A* pone de relieve que α (es la misma constante para todos los sólidos/tiene diferentes valores para distintos sólidos).

* * * * *

coeficientes de expansión térmica; tiene diferentes valores para distintos sólidos.

17. Panel 3. Observe, sin embargo, que todos los coeficientes de expansión *lineal* indicados tienen aproximadamente el mismo orden de magnitud, que es de ..... Esto significa que las dimensiones lineales de una muestra de cualquiera de estas substancias aumenta en un factor de aproximadamente un ..... con un aumento de temperatura de .....

* * * * *

10^{-5}; cienmilésimo; 1 C°.

18. Un disco de aluminio tiene un radio de 100.00 cm a 20 °C. Calcule (1) el cambio en su radio cuando se calienta a una temperatura de 120 °C y (2) su radio a esta última temperatura.

* * * * *

$$\Delta l = \alpha l_1 \Delta T$$
$$= (2.4 \times 10^{-5})(100.00)(100) = 0.24 \text{ cm}$$
$$l_2 = l_1 + \Delta l = 100.24 \text{ cm}.$$

19. Hemos visto que las dimensiones de la mayoría de los objetos se dilatan con un aumento de temperatura. Suponga que tenemos una lámina rectangular de latón a 0 °C. Cuando su temperatura aumenta a 20 °C, ¿cuál de las siguientes aseveraciones es cierta?: (1) la longitud aumenta, permaneciendo igual el ancho; (2) el ancho aumenta, permaneciendo igual la longitud; (3) la longitud y el ancho aumentan; (4) el área aumenta.

* * * * *

(3) (porque todas las dimensiones lineales del objeto se dilatan) y (4) (si el largo y el ancho aumentan, el área también debe aumentar).

20. Cuando las dimensiones de un objeto están sujetas a expansión térmica, también el área de cualquiera de las superficies de ese objeto se debe dilatar. La experimentación indica que esta expansión *superficial* es directamente proporcional al cambio de temperatura ΔT y al área original A_1.
Use k como constante de proporcionalidad y escriba una ecuación para ΔA, en función de A_1 y ΔT.

* * * * *

$\Delta A = kA_1\Delta T.$

21. Debemos esperar que el *coeficiente de expansión superficial* (k en la ecuación recién establecida) esté relacionado con el coeficiente de expansión lineal. Con muy buena aproximación, $k = 2\alpha$. El coeficiente de expansión superficial del hierro es de ..... *(refiérase al panel 3)*.

* * * * *

$2.4 \times 10^{-5}/\text{C}°$.

22. El área de la cara superior de un cilindro de acero es de 1000 cm² a 25 °C. Calcule su área a 75 °C.

* * * * *

$A_2 = A_1 + \Delta A = 1000 \text{ cm}^2 + \Delta A$

$\Delta A = kA_1\Delta T.$

$k = 2\alpha = \dfrac{2.6 \times 10^{-5}}{\text{C}°}$ (del panel 3)

$\Delta A = \left(\dfrac{2.6 \times 10^{-5}}{\text{C}°}\right)(1000 \text{ cm}^2)(50 \text{ C}°) = 1.3 \text{ cm}$

$A_2 = 1001.3 \text{ cm}^2.$

23. Si todas las dimensiones de un objeto aumentan al aumentar su temperatura, debemos suponer que su volumen (aumente/disminuya/permanezca constante).

* * * * *

aumente.

24. La experimentación indica que la expansión ΔV debida a un aumento de temperatura ΔT es directamente proporcional a ΔT y al volumen original V_1. Use c como constante de proporcionalidad y escriba una ecuación para ΔV.

* * * * *

$\Delta V = cV_1\ \Delta T.$

25. Con bastante aproximación, el *coeficiente de expansión volumétrica* es $c = 3\alpha$. Refiérase al panel 3. El coeficiente de expansión *lineal* del latón es de ..... El coeficiente de expansión *volumétrica* del latón es de ..... El coeficiente de expansión *superficial* del latón es de .....

* * * * *

$1.9 \times 10^{-5}/\text{C}^\circ$; $5.7 \times 10^{-5}/\text{C}^\circ$; $3.8 \times 10^{-5}/\text{C}^\circ$.

26. El volumen de un trozo de platino a 0°C es de 250.00 cm³. Calcule su volumen a 25°C.

* * * * *

$V_2 = V_1 + \Delta V$

$\Delta V = cV_1\ \Delta T = 3\alpha V_1\ \Delta T$

$= (2.7 \times 10^{-5})\,(250)\,(25) = 0.17\ \text{cm}^3$

$V_2 = 250.00\ \text{cm}^3 + 0.17\ \text{cm}^3 = 250.17\ \text{cm}^3.$

27. Los sólidos se expanden en sus dimensiones lineales, superficiales y volumétricas al sufrir un aumento de temperatura. La experimentación indica que la mayoría de los líquidos (siendo *el agua* una importante *excepción*) también se expanden al sufrir aumentos de temperatura. En el panel 3, tabla B, se dan algunos coeficientes típicos de expansión (lineal/volumétrica/superficial) de líquidos.

* * * * *

volumétrica (puesto que los líquidos toman la forma del recipiente que los contiene, no tienen dimensiones lineales definidas y para ellos únicamente es a menudo útil el coeficiente de expansión volumétrica).

28. A temperatura ambiente el mercurio es líquido. (Debemos/no debemos) esperar que se expanda bajo la influencia de una temperatura en constante aumento.

El agua (se expande/no se expande) bajo un cambio térmico, como lo hacen la mayoría de los líquidos.

* * * * *

debemos; no se expande.

29. Panel 3. En la tabla B note los coeficientes de expansión volumétrica de algunos líquidos. Se observa que el valor del coeficiente de expansión volumétrica (es constante/varía) para cada líquido.

* * * * *

varía.

30. Panel 3. Observe que el orden de magnitud de cada uno de los coeficientes de expansión volumétrica de la tabla B es de ..... El orden de magnitud de la expansión de los sólidos es de ..... En general, los líquidos se dilatan (más/menos) que los sólidos, cuando se someten a temperaturas crecientes.

* * * * *

10^{-4}; 10^{-5}; más.

31. El cambio de volumen (ΔV) de un líquido es directamente proporcional al volumen original (V_1) y al cambio de temperatura (ΔT). Use la letra griega (β) para representar el coeficiente de expansión volumétrica de los líquidos y escriba una expresión para ΔV, en función de V_1 y ΔT.

* * * * *

$\Delta V = \beta V_1 \Delta T$.

32. Calcule el cambio de volumen de 1000 cm^3 de mercurio a 25°C cuando se calientan a 100°C.

* * * * *

$$V = \beta V_1 \Delta T.$$

$$= \left(\frac{1.8 \times 10^{-4}}{\text{C}^\circ} \right) (1000 \text{ cm}^3) (75 \text{ C}^\circ) = 13.5 \text{ cm}^3.$$

33. ¿Cuál de las siguientes aseveraciones es verdadera?: (1) todos los sólidos sufren la expansión térmica en la misma proporción; (2) todos

los líquidos sufren la expansión térmica en la misma proporción; (3) cada líquido que sufre dilatación tiene su propio coeficiente de expansión; (4) en general, los sólidos se expanden con mayor rapidez que los líquidos; (5) respecto a la expansión térmica, el agua es un líquido típico.

* * * * *

(3).

Sección 4. Propiedades observables de los gases.

1. Refiérase al panel 4. En él se enlistan las densidades de sólidos, líquidos y gases representativos, a temperatura y presión normales (TPN). La presión normal es de .... atm o bien de .... cm de mercurio. La temperatura normal es de .... °C.

* * * * *

1; 76; 0.

2. Panel 4. Todas las densidades mostradas aquí están en ..... (unidades) y se miden a ..... (es decir, 0°C y 1 atm).

* * * * *

kg/m^3; TPN (temperatura y presión normales).

3. Panel 4. Examine la lista de sólidos y líquidos. La mayoría tienen densidades del orden de .... kg/m^3.

* * * * *

10^3.

4. Panel 4. Ahora examine la lista de gases. A TPN, las densidades de los sólidos y de los líquidos son aproximadamente ..... veces mayores que la densidad de los gases.

* * * * *

1000 (ó 10^3).

5. Generalmente, es una de las características de un gas a TPN el ser mucho (más/menos) denso que cualquier sólido o líquido.

* * * * *

menos.

6. Una propiedad sobresaliente de dos gases es su baja ..... a TPN.

* * * * *

densidad.

7. Comprimir algo equivale a introducirlo en un volumen menor. Si comprimimos 10,000 cm^3 de un gas dentro de un recipiente de 4000 cm^3 (estamos/no estamos) comprimiéndolo. Si extraemos gas de un recipiente de 2000 cm^3 y lo introducimos en otro recipiente de 5000 cm^3 (estamos/no estamos) comprimiéndolo.

* * * * *

estamos; no estamos.

8. Los líquidos y los sólidos se caracterizan por tener volúmenes relativamente fijos. Por lo tanto, es difícil ..... líquidos o sólidos en ..... menores.

* * * * *

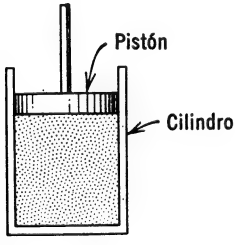
comprimir; volúmenes.

9. Podemos reducir fácilmente el volumen de un gas. Esto significa que es (fácil/difícil) comprimirlo.

* * * * *

fácil.

10. Para comprimir el gas dentro de este cilindro, debemos (aumentar/disminuir) la fuerza hacia abajo en el pistón.



* * * * *

aumentar.

11. Refiérase a la figura del cuadro anterior. La fuerza por unidad de área que se aplica al pistón es la ..... aplicada al gas.

* * * * *

presión.

12. Para comprimir el gas en el cilindro, aplicamos al pistón una presión externa (mayor/menor).

* * * * *

mayor.

13. Suponga que deseamos expandir el gas dentro del cilindro. Para lograrlo, debemos (aumentar/disminuir) la presión externa sobre el pistón.

* * * * *

disminuir.

14. Los gases, (al igual que/a diferencia de) los líquidos y los sólidos, son compresibles; es decir, es relativamente fácil comprimir gases en ..... menores.

* * * * *

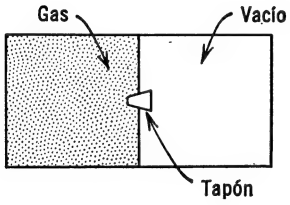
a diferencia de; volúmenes.

15. Se puede confinar gases en volúmenes cada vez menores, porque son .....

* * * * *

compresibles.

16. Los gases poseen *expansibilidad ilimitada.* Esto significa que si quitamos el tapón de la figura, el gas se ..... y ocupa la totalidad del ..... del recipiente.



* * * * *

expande; volumen.

17. Hasta ahora hemos observado tres propiedades notables de los gases, a saber: (1) a TPN, la densidad de todos los gases es (alta/baja) respecto a la de los sólidos y los líquidos; (2) los gases son .. .., puesto que se pueden introducir fácilmente en .....

..... menores; (3) los gases poseen ..... ilimitada, puesto que se pueden expandir rápidamente y ocupar el volumen del recipiente.

* * * * *

baja; compresibles; volúmenes; expansibilidad.

18. Refiérase al panel 5 y lea el experimento A. A temperatura ambiente, las soluciones concentradas de hidróxido de amonio y ácido clorhídrico producen .....

* * * * *

gases (vapores).

19. Panel 5. Cuando se mezclan los gases de cloruro de hidrógeno y de amoniaco, uno de los productos es agua. El otro producto es .... que es un (sólido/líquido/gas) de color.....

* * * * *

cloruro de amonio; sólido; blanco.

20. Panel 5. Antes de colocar los tapones de algodón en los extremos del tubo de vidrio de la figura, éste se ha llenado con la mezcla de ..... que llamamos aire. Después de insertar los tapones de algodón en los extremos del tubo, se forma un anillo ..... (*color*) cerca del tubo.

* * * * *

gases; blanco.

21. Panel 5. El anillo blanco demuestra que los gases de cloruro de hidrógeno y de amoniaco se han desplazado de los ..... del tubo y mezclado cerca del centro para formar ..... Para hacer esto, los gases tienen que haber *pasado a través* del ..... que había en el tubo al insertar los tapones de algodón.

* * * * *

extremos; cloruro de amonio; aire.

22. Panel 5. El cloruro de hidrógeno y el amoniaco son gases (coloreados/incoloros). (Podemos/no podemos) verlos *pasar a través* del aire en el tubo.

* * * * *

incoloros; no podemos.

23. Panel 5. Hemos comprobado que los gases ..... aire en el tubo; la prueba es la formación del anillo de ..... cerca del centro.

* * * * *

pasan a través del; cloruro de amonio.

24. Panel 5. El experimento A indica que (es/no es) posible que pasen diferentes gases unos a través de otros.

* * * * *

es.

25. Panel 5. En el experimento A, tanto el gas de cloruro de hidrógeno como el de amoniaco pasan a través de la mezcla de ..... que llamamos aire.

* * * * *

gases.

26. Panel 5, experimento A. Llamamos *difusión* al paso de un material a través de otro. El paso de cloruro de hidrógeno a través del aire dentro del tubo (es/no es) un ejemplo de difusión.

* * * * *

es.

27. Panel 5, experimento A. El gas de cloruro de hidrógeno pasa a través del aire dentro del tubo sin la ayuda de ninguna fuerza externa. Esto comprueba que la ..... de los gases ocurre espontáneamente.

* * * * *

difusión.

28. Panel 5. Lea el experimento B. El sulfuro de hidrógeno es un gas (coloreado/incoloro), (con/sin) olor perceptible. Si el sulfuro de hidrógeno está presente, lo detectamos por su (color/olor).

* * * * *

incoloro; con; olor.

29. Panel 5, experimento B. Puesto que el olor de huevo podrido se detecta en (todas/algunas) partes del laboratorio, el sulfuro de hidrógeno debe haberse ..... a través del aire del laboratorio.

* * * * *

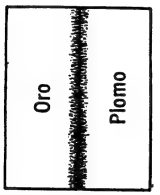
todas; difundido.

30. Panel 5, experimento B. Puesto que el sulfuro de hidrógeno es más (pesado/ligero) que el aire, es de suponer que se asiente cerca del (piso/techo) del laboratorio. El hecho de que el olor del sulfuro de hidrógeno se advierta en *toda* la habitación (piso, techo, etc.) demuestra que los gases se difunden (debido a/a pesar de) la gravedad.

* * * * *

pesado; piso; a pesar de.

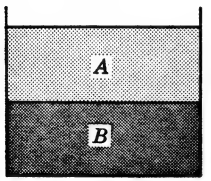
31. Cuando se ponen en contacto dos sólidos (como el plomo y el oro mostrados aquí), después de varios *años* vemos que las superficies en contacto se han mezclado. Este es un ejemplo de ..... en los sólidos.



* * * * *

difusión.

32. El líquido *B* es más denso que el *A*. *A* se vacía lenta y cuidadosamente sobre *B* para evitar que se mezclen. Unos *días* después se observa parte del líquido *B* en *A*. Este (es/no es) un ejemplo de difusión en los líquidos.



* * * * *

es.

33. Panel 5, experimento B. La difusión de un sólido dentro de otro se advierte después de un período de varios *años*. Podemos advertir la difusión de líquidos en cuestión de *horas* o *días*. Los gases de sulfuro de hidrógeno se difunden por el aire del laboratorio en cuestión de pocos .....

* * * * *

segundos.

34. La difusión de los gases es mucho (más/menos) rápida que la difusión de los sólidos o los líquidos.

* * * * *

más.

35. Tanto los sólidos, los líquidos y los gases se difunden. Una propiedad característica de los gases es que se difunden mucho más .... que los líquidos o los sólidos.

* * * * *

rápidamente.

36. Repaso. 1) Los gases se caracterizan por su .... a TPN; 2) los gases cambian fácilmente de ....., es decir, son ..... y poseen ..... ilimitada; 3) los gases se difunden relativamente (aprisa/despacio) comparados con la difusión de los líquidos y los sólidos.

* * * * *

baja densidad; volumen; compresibles; expansibilidad; aprisa.

Sección 5. Las leyes de los gases. La ley de Boyle.

Nota: En las secciones siguientes examinaremos ciertas leyes y la teoría que las explica. Las palabras *ley* y *teoría* tienen, para mucha gente, muy distintos significados. En este curso designaremos con el término (físico) ley, ya sea en palabras o en símbolos matemáticos, cualquier descripción cuantitativa o cualitativa de una regularidad *observada* en las propiedades de las cosas. Usted ya ha encontrado tales leyes en el estudio de la física; dos ejemplos lo son las descripciones matemáticas del movimiento acelerado ($\vec{F} = m\vec{a}$) y del período del péndulo simple ($T = 2\pi\sqrt{l/g}$). "La difusión de los gases es rápida comparada con la de los líquidos y la de los sólidos" y "los planetas giran alrededor del Sol en órbitas elípticas" son descripciones no cuantitativas de fenómenos físicos a los que, según el significado adoptado en este texto, podemos llamar leyes.

En general, las leyes físicas son el resultado de nuestras observaciones de las propiedades físicas y se refieren a cosas y hechos que se observan directamente. Emplearemos el vocablo *teoría* (los físicos emplean en su lugar a menudo la palabra *modelo*) para designar a un conjunto de hipótesis que explican, entre otras cosas, las leyes que deducimos de nuestras observaciones. Tales teorías con frecuencia suponen la existencia de entidades (átomos, electrones, corpúsculos de luz, etc.) que no se pueden observar fácilmente o no son en lo absoluto directamente observables. La teoría atómica supone que toda materia está formada por partículas invisibles llamadas átomos; los átomos no son directamente observables, pero la hipótesis de que existen nos permite explicar lo que observamos en las reacciones químicas. Los fenómenos de la electricidad estática

los explican las hipótesis de la teoría del electrón, aun cuando nadie haya visto un electrón.

"Los hijos de padres ojiazules tienen ojos azules" es el enunciado de una ley física. "Los cromosomas están formados de distintas clases de genes asociados a rasgos hereditarios como el color de los ojos, del pelo, etcétera", es una hipótesis de una teoría desarrollada para explicar la ley. Las teorías (o modelos) desarrolladas en este curso consisten en conjuntos de hipótesis necesarias para explicar lo que observamos en la realidad y que describimos en forma de leyes físicas.

Las nociones de ley y de teoría están sujetas a mucha discusión en la historia y la filosofía de la ciencia y las definiciones que se usan en este texto no pueden reputarse de ser completas o categóricas. El estudiante que lo desee puede encontrar una discusión estimulante e informativa en la obra *The Structure of Science* de Ernest Nagel, publicada por Harcourt, Brace and World.

1. Podemos describir el estado de un gas formulando una ecuación que relacione las siguientes variables:

1) la masa m del gas
2) la presión p del gas
3) el volumen v ocupado por el gas
4) la temperatura T del gas.

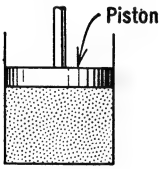
Tal ecuación se llama *ecuación de estado.*

La masa, la presión, el volumen y la temperatura (son/no son) cantidades físicas medibles (observables). Una ecuación de estado (es/no es) la formulación de una ley física.

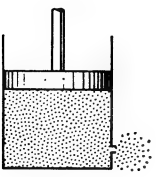
* * * * *

son; es.

2. Se llama gas *confinado* al que se mantiene dentro de un recipiente, en tal forma que *su masa permanece constante,* sin importar los cam-



(a)



(b)

bios que ocurran en las otras tres variables. Al empujar hacia abajo el pistón de las figuras (*a*) y (*b*), el aire no escapa por los bordes del pistón. El aire *no* está confinado en (*a*/*b*). Explique.

* * * * *

(*b*). Hay una abertura en la pared del cilindro, a través de la cual el gas puede escapar cuando el pistón se mueve hacia abajo.

3. Si se mantiene un gas dentro de un recipiente, en tal forma que no pierda masa al calentarlo, comprimirlo, etc., se dice que este gas está .....

* * * * *

confinado.

4. ¿Cuál de las cuatro posibles variables que describen el estado de un gas es constante para un gas confinado?

* * * * *

la masa (*m*).

5. Un gas que se mantiene dentro de un cilindro mediante un pistón móvil, es un ejemplo de gas confinado. Un aumento de la presión aplicada al gas por fuerzas *externas,* mediante el pistón, (aumenta/disminuye) el volumen que ocupa el gas

* * * * *

disminuye.

6. Para aumentar el volumen del gas confinado por el pistón, podemos (aumentar/disminuir) la presión aplicada al pistón.

* * * * *

disminuir.

7. Hemos establecido una relación burda entre la presión y el volumen de un gas que está *confinado.* Al aumentar la presión, el volumen .....; al disminuir la presión, el volumen ..... Esto sugiere que el volumen de un gas que está confinado *no puede* ser (directamente/inversamente) proporcional a la presión que se le aplique.

* * * * *

disminuye; aumenta; directamente.

8. Lea el panel 6 y consúltelo al estudiar los siguientes cuadros. La ley de Boyle es una descripción de la relación cuantitativa entre la

presión y el volumen de un gas que está ....., es decir, de un gas cuyo(a) ..... es constante.

* * * * *

confinado; masa.

9. Panel 6. El tubo en forma de J es un dispositivo que se emplea para establecer experimentalmente la ley de ..... La masa del gas con que se va a experimentar está en el brazo (abierto/cerrado) del tubo en forma de J y el experimentador mide el(la) ..... del gas confinado, midiendo el(la) ..... de la sección *AB*.

* * * * *

Boyle; cerrado; volumen; longitud.

10. Panel 6. El experimentador puede comparar los volúmenes de las secciones del tubo comparando sus longitudes, pues el diámetro del tubo es ..... Cuando el experimentador desee comparar el volumen del gas que está confinado, en la figura (*a*), con su volumen en la figura (*b*), le bastará comparar la longitud ..... con la longitud ..... (*use letras*).

* * * * *

constante, uniforme; *AB*; *CB*.

11. Panel 6. En la figura (*a*) las columnas de mercurio se equilibran. La presión que ejerce sobre el mercurio el gas confinado en el extremo cerrado del tubo J es (igual/diferente) a la presión que ejerce la atmósfera sobre el mercurio en el brazo abierto del tubo.

* * * * *

igual.

12. Panel 6. Durante este experimento, la lectura en el barómetro es de .... cm de mercurio. La presión ejercida sobre el gas confinado de la figura (*a*) es de .... cm de mercurio.

* * * * *

76; 76.

13. Panel 6. En la figura (*b*) el experimentador vació más mercurio en el tubo en J. El nivel del mercurio en el brazo abierto es (mayor que/menor que/de la misma altura que) el del mercurio en el brazo cerrado. Esto significa que las columnas de mercurio (se/no se) equilibran como en la figura (*a*).

* * * * *

mayor que; no se.

14. Panel 6, figura (*b*). La presión ejercida sobre el mercurio en *D* es debida a ..... y su valor es de ..... cm de mercurio. El mercurio bajo C_1 en el brazo abierto se equilibra exactamente con el mercurio bajo *C* en el brazo cerrado. La presión *absoluta* sobre el gas confinado es debida a la columna de mercurio que está entre C_1 y .... más la presión del (de la) .....

* * * * *

la atmósfera; 6; *D*; atmósfera.

15. Panel 6, figura (*b*). Supongamos que C_1D mide 16 cm. La presión absoluta sobre el gas confinado es entonces de ..... cm de mercurio.

* * * * *

76 cm + 16 cm = 92 cm.

16. Panel 6. A medida que el experimentador sigue agregando mercurio, debemos suponer que la altura del mercurio en el brazo abierto (aumenta/disminuye/permanece igual) y que la longitud de la sección *BC*, que es una medida del ..... del gas confinado, (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

aumenta; volumen; disminuye.

17. Panel 6. La adición de mercurio al brazo abierto aumenta (la presión sobre el/el volumen del) gas que está confinado. La disminución correspondiente en la longitud de la sección *CB* representa también una disminución (de la presión sobre el/del volumen del) gas confinado.

* * * * *

la presión sobre el; del volumen del.

18. Panel 6. Durante el experimento se deben verificar varias veces la presión atmosférica y la temperatura ambiente. Es importante conocer en todo momento la presión atmosférica, porque debemos ... . a la presión que ejerce la columna de mercurio ..... (*use letras*) para obtener la ..... sobre el gas confinado.

* * * * *

sumarla; C_1D; presión absoluta (posteriormente consideramos el efecto de la temperatura).

19. El hecho de que un aumento de la presión ejercida sobre un gas que está confinado disminuya su volumen, sugiere que la presión y

el volumen de un gas confinado pueden ser (directamente/inversamente) proporcionales.

* * * * *

inversamente.

20. Si esto es correcto, y hacemos p = presión, V = volumen y k una constante de proporcionalidad, entonces:

$\left(\frac{p}{V},\ pV\right) = k.$

* * * * *

pV.

21. $pV = k$. Si la presión y el volumen de un gas que está confinado son ..... proporcionales entre sí, entonces su ..... es una constante.

* * * * *

inversamente; producto.

22. Panel 6. Podemos comprobar esto con datos experimentales. Los valores de p se dan en la columna .....; los valores de V en la columna .... y los de pV en la columna ..... Si $pV = k$ es una ecuación de estado verdadera, todos los valores de la columna .... deben ser casi iguales (con tolerancias debidas a errores experimentales).

* * * * *

3; 1; 4; 4.

23. Panel 6. Examine la columna 4. ¿Justifica la ecuación $pV = k$? (Sí/no).

* * * * *

Sí.

24. Panel 6. El experimentador también hizo una pausa de varios minutos cada vez que agregó mercurio al brazo abierto ¿Por qué?

* * * * *

Para que el gas (aire) encerrado en el extremo cerrado del tubo pudiera recobrar su temperatura ambiente (*verifique el párrafo 5 del panel 6*).

25. Panel 6. Esta precaución sugiere que un cambio de ..... podría afectar a nuestro enunciado de la ley de Boyle.

* * * * *

temperatura.

26. Las cuatro variables asociadas al estado de un gas son: su ...., su ....., su ..... y su ..... La ley de Boyle afirma que cuando el(la) ..... y el(la) ..... son constantes, pV = constante.

* * * * *

En cualquier orden: masa, presión, temperatura, volumen.
En cualquier orden: temperatura, masa.

27. La ley de Boyle afirma que el ..... y la ..... de un gas son ..... proporcionales cuando su temperatura y su masa son (constantes/variables).

* * * * *

volumen; presión; inversamente; constantes.

28. Refirámonos al panel 7. La figura 1 es una gráfica de los datos tomados del panel 6. Las variables representadas son el(la) .... y el(la) ....., permaneciendo constantes el(la) ..... y el (la) .....

* * * * *

En cualquier orden: presión, volumen.
En cualquier orden: masa, temperatura.

29. La gráfica de una ecuación de la forma $xy = a$ constante es una curva llamada hipérbola. La gráfica del panel 7, Fig. 1, *puede ser* una hipérbola, puesto que (es/no es) una línea curva.

* * * * *

es.

30. Panel 7, Fig. 1. Debido a que es una curva y hay muchas curvas semejantes (como la parábola, o partes de una elipse o de una circunferencia grande), la hipérbola (es/no es) fácilmente identificable por inspección. (Es/no es) más fácil de identificar por inspección una línea recta.

* * * * *

no es; Es.

31. Panel 7. La Fig. 2 es una gráfica de presión contra .....

* * * * *

$1/V$ (recíproco del volumen).

32. Los datos del experimento descrito en el panel 6 sugieren que la presión y el volumen de un gas que está confinado son inversamente proporcionales. Si esto es cierto, la presión debe ser (directamente/inversamente) proporcional al *recíproco* del volumen y la gráfica presión-recíproco del volumen debe ser una (recta/curva).

* * * * *

directamente; recta.

33. Panel 7. La Fig. 2 es una gráfica de los datos del panel 6 usando valores de $1/V$ en vez de V. Todos los datos (puntos dentro de cuadros) caen muy cerca de una línea ..... Esto es una evidencia más de que la presión y el volumen de un gas que está confinado son ..... proporcionales y de que el producto ..... = una constante.

* * * * *

recta; inversamente; pV.

34. Panel 7. La exactitud con que los datos de la Fig. 2 se aproximan a una recta es una evidencia más de que la curva graficada en la Fig. 1 representa $pV = k$ y de que es parte de (un círculo/una elipse/una parábola/una hipérbola).

* * * * *

una hipérbola.

35. Refiérase al panel 8. El problema 1 describe un gas que está ....., lo que significa que su ..... permanece constante. También se ha supuesto una temperatura ..... Llamemos al volumen y presión iniciales V_1 y p_1 respectivamente.

$V_1 =$ ..... cm^3; $p_1 =$ .....dinas/cm^2;

$k =$ ..... dinas $\times$ cm.

* * * * *

confinado; masa; constante; 100; 50;

$p_1V_1 = k = 50$ dinas/$cm^2 \times 100$ $cm^3 = 5000$ dinas $\times$ cm.

36. Panel 8, problema 1. Llamemos p_2 y V_2 respectivamente a la presión y el volumen *después* de haber ajustado el pistón. Conforme a la ecuación de estado de Boyle: $p_2V_2 =$ ..... dinas × cm.

* * * * *

$p_2V_2 = k = 5000$ dinas × cm.

37. Panel 8, problema 1. $p_2V_2 = 5000$ dinas × cm. Substituya a V_2 y despeje p_2.

* * * * *

$p_2V_2 = 5000$ dinas × cm

$(25\ \text{cm}^3)p_2 = 5000$ dinas × cm

$$p_2 = \frac{5000 \text{ dinas} \times \text{cm}}{25 \text{ cm}^3} = 200 \text{ dinas/cm}^2.$$

38. Panel 8. Lea el problema 2. A partir de p_2V_2 calcule k.
$k =$ ..... (cm^3) (cm de mercurio).

* * * * *

$p_2 = 600$ cm de mercurio

$V_2 = 250\ \text{cm}^3$

$p_2V_2 = k = 150{,}000\ (\text{cm}^3)$ (cm de mercurio).

39. Panel 8, problema 2.

$p_1V_1 = k =$ ..... (cm^3) (cm de mercurio)

$p_1 =$ ..... cm de mercurio

$V_1 =$ ..... cm^3.

* * * * *

150,000; 75; (75 cm de mercurio) $V_1 = 150{,}000\ (\text{cm}^3)$ (cm de mercurio);

$$V_1 = \frac{150{,}000\ (\text{cm}^3)\ (\text{cm de mercurio})}{75\ (\text{cm de mercurio})} = 2000\ \text{cm}^3.$$

40. Repaso. $pV = k$ es una formulación matemática de una (ley/teoría) porque relaciona propiedades físicas que (son/no son) directamente observables.

* * * * *

ley; son.

41. Repaso. La ecuación de estado para un gas con masa y temperatura constantes es una formulación matemática de la ley de .....

* * * * *

Boyle.

42. Repaso. La ley de Boyle enuncia, *en símbolos*: ..... = k (cuando ..... y ..... permanecen constantes).

* * * * *

pV; *en cualquier orden: m, T.*

43. Repaso. La curva que caracteriza a una gráfica de presiones y volúmenes de un gas que está confinado a temperatura constante es una ..... La gráfica de presión y *recíproco* del volumen de un gas que está confinado a temperatura constante es una .....

* * * * *

hipérbola; recta.

Sección 6. Las leyes de los gases (continuación).

1. Refirámonos al panel 9. La figura (*a*) es una gráfica de tres conjuntos de datos de ..... contra ..... a (la misma temperatura/diferentes temperaturas).

* * * * *

En cualquier orden: presión, volumen; diferentes temperaturas.

2. Panel 9. En este experimento, el experimentador se dispuso a determinar el efecto de la ..... en la relación entre presión y volumen de un gas que está confinado. La variable que se mantuvo constante durante todo este experimento es la ..... del gas.

* * * * *

temperatura; masa.

3. Panel 9. Las figuras (*a*) y (*b*) indican que la ley de Boyle (se cumple/no se cumple) para *cada* temperatura escogida. Cada temperatura indica también que (tiene algún/no tienen ningún) efecto sobre el producto pV.

* * * * *

se cumple (porque la curva pV para cada temperatura es una hipérbola y la curva $p(1/V)$ para cada temperatura es una línea recta).

tiene algún (porque hay tres diferentes curvas para las tres temperaturas).

4. Panel 9. Cada hipérbola de la figura (*a*) se llama isoterma pV. La isoterma pV es una curva de ..... contra ..... para la cual hay una temperatura (constante/variable).

* * * * *

En cualquier orden: presión, volumen; constante.

5. Panel 9, figura (*a*). La curva exterior (la más lejana a los ejes) es una ..... pV porque describe la ecuación de estado $pV = k$ mientras el gas confinado se mantuvo a una temperatura ..... de .... °C.

* * * * *

isoterma; constante; 50.

6. Panel 9, Fig. (*a*). La hipérbola interior (la más cercana a los ejes) es una ..... para un gas confinado mantenido a ..... °C.

* * * * *

isoterma pV; 0.

7. Panel 9, Fig. (*a*). Explique por qué la hipérbola central también es una isoterma.

* * * * *

Porque describe la ecuación $pV = k$ mientras el gas se mantiene a una temperatura constante (20°C).

8. La ley de Boyle nos proporciona una ecuación de estado el(la) ..... y el(la) ..... de un gas se mantienen constantes. Por lo tanto, nos permite examinar la relación entre ..... y ..... Para examinar la relación entre volumen y temperatura de un gas, debemos mantener constante su ..... y su .....

* * * * *

En cualquier orden: temperatura, masa.
En cualquier orden: presión, volumen.
En cualquier orden: presión, masa.

9. El siguiente es un experimento destinado a descubrir una ecuación de estado que relacione el volumen y la temperatura de un gas.

1) El volumen de un gas que está confinado se mide a 0°C y a una presión de 76 cm de mercurio; en seguida se calienta a 1°C mientras la presión se mantiene a 76 cm de mercurio.
2) Una nueva medición indica que su volumen aumentó en 1/273 del que tenía a 0°C.
3) Si el volumen del gas a 0°C era de 546 cm^3, su aumento de volumen a 1°C es de ..... cm^3.

* * * * *

1/273 de 546 $cm^3 = 2\ cm^3$.

10. En general, el experimento indica que para cada aumento de 1°C en su temperatura, una masa fija de gas mantenida a presión *constante* sufre un aumento de volumen de 1/273 del que tenía a 0°C. Suponga que un gas ocupa 2000 cm^3 a 0°C. Su volumen a 91°C es de ..... cm^3.

* * * * *

$$V_{91°C} = V_{0°C} + \frac{91}{273} V_{0°C}$$
$$= 2000\ cm^3 + \frac{91}{273} \cdot 2000\ cm^3.$$
$$= 2667\ cm^3.$$

11. Muchos experimentos como el descrito en el cuadro 9 indican que *todos* los gases se expanden en la misma proporción, siempre que se mantengan constante su ..... y su ..... Se calienta una muestra de oxígeno de 0°C a 1°C a una presión de 1.5 atm antes y después de calentarlo. Su volumen aumenta en ..... del que tenía a ..... °C.

* * * * *

En cualquier orden: presión, masa; 1/273; 0.

12. ¿Cuál afirmación es la correcta?: (1) Cada sólido tiene su propia expansión térmica. (2) Todos los sólidos se dilatan en la misma proporción bajo la influencia de un aumento de temperatura.

¿Cuál afirmación es la correcta?: (1) Cada líquido tiene su propia expansión térmica. (2) Todos los líquidos se expanden en la misma proporción bajo la influencia de un aumento de temperatura.

¿Cuál afirmación es la correcta?: (1) Cada gas tiene su propia expansión térmica. (2) Todos los gases se dilatan en la misma proporción bajo la influencia de un aumento de temperatura.

* * * * *

1; 1; 2.

13. Al medir el volumen de una masa confinada de gas nitrógeno a 0°C se encuentra que es de 100 cm^3. En seguida se calienta a 3°C, manteniendo constante la presión. El gas se expande en ..... (*fracción*) de su volumen a 0°C.

* * * * *

3/273 o bien 1/91.

14. Una masa confinada de gas cloro, mantenida a presión constante, se *enfría* de 0 a —25°C. Su volumen (aumenta/disminuye) en ... . (fracción) de su volumen a 0°C.

* * * * *

disminuye; 25/273.

15. Sea $V_{0°C}$ = volumen de una masa dada de un gas a 0°C y V = su volumen a t°C. Entonces:

$V =$ ..... (en función de $V_{0°C}$ y t).

* * * * *

$$V_{0°C} + \frac{t}{273} V_{0°C}.$$

16. $V = V_{0°C} + \frac{t}{273} V_{0°C}$ (m y p constantes). Esta ecuación es válida para (todos los/algunos) gases.

* * * * *

todos los.

17. $V = V_{0°C} + \frac{t}{273} V_{0°C}$. Si el gas se enfría, de 0°C a un valor menor t, entonces t es (positiva/negativa) y V es (mayor/menor) que $V_{0°C}$.

* * * * *

negativa; menor.

18. Refiérase al panel 10. Se trata de una representación gráfica de la ecuación $V = V_{0°C} + \frac{t}{273} V_{0°C}$ (m y p constante).

La curva que representa esta relación es una (recta/curva).

* * * * *

recta.

19. Panel 10. El volumen de este gas es $V_{0°C}$ a 0°C. A 91°C el volumen es $V =$ ..... $V_{0°C}$ (*fracción*).

* * * * *

$$V = V_{0°C} + \frac{91}{273} V_{0°C.} = 4/3\ V_{0°C.}$$

20. Panel 10. A 182°C, $V =$ ..... $V_{0°C.}$

* * * * *

$$V = V_{0°C} + \frac{182}{273} V_{0°C}$$

$$= V_{0°C} + 2/3\ V_{0°C}$$

$$= 5/3\ V_{0°C.}$$

21. Panel 10. *A* $t = 273$°C, $V =$ ..... $V_{0°C.}$

* * * * *

2.

22. Panel 10. Ahora considere los volúmenes del gas a temperaturas abajo de 0°C.

A $-$ 91°C, $V =$ ..... $V_{0°C.}$

A $-$182°C, $V =$ ..... $V_{0°C.}$

* * * * *

2/3; 1/3.

23. Panel 10. *Suponga* que fuera posible enfriar este gas a —273°C. A esta temperatura su volumen sería de ....

* * * * *

$$V = V_{0°C} + \frac{-273}{273} V_{0°C} = 0.$$

24. La experimentación indica que *todos* los gases se licúan antes de alcanzar una temperatura tan baja como la de —273°C. La ecuación $V = V_{0°C} + 273\ V_{0°C}$ se aplica *únicamente* a los gases. Por tanto, (podemos/no podemos) aplicarla a substancias que existan a —273°C.

* * * * *

no podemos.

25. El panel 10 sugiere que si enfriamos cualquier volumen de gas hasta ..... °C, el volumen desaparece. Sin embargo, en la práctica no ocurre esto porque todos los gases conocidos se vuelven ... . o ..... antes de alcanzar esta temperatura.

* * * * *

−273; *en cualquier orden:* líquidos, sólidos.

26. A pesar de que a −273°C no existen gases, usamos esta temperatura para definir el *cero absoluto* de una escala de temperatura muy útil llamada *Kelvin.* La lectura de temperatura de −273°C es la misma de ..... °K.

* * * * *

0 ó cero (el valor real del cero absoluto en la escala Celsius es de −273.16, pero usaremos el valor −273 por conveniencia en los cálculos).

27. Panel 10. Las temperaturas Kelvin se indican en paréntesis bajo las temperaturas Celsius correspondientes. En la escala Kelvin el cero ..... de temperatura es 0°K y en la escala Celsius es de ..... °C.

* * * * *

absoluto; −273.

28. Panel 10. El tamaño de un grado en la escala Kelvin es el mismo de otro en la escala Celsius, puesto que hay ..... K° (*número*) entre la temperatura a que se funde el hielo y la de ebullición del agua. Sin embargo, una lectura de temperatura en la escala Kelvin siempre es 273° (mayor/menor) que la misma temperatura en la escala Celsius, por consiguiente, el punto de ebullición del agua es de ..... °K.

* * * * *

100; mayor; 373.

29. El punto de ebullición del azufre es de 445°C. En la escala Kelvin este punto es de .....°K. El punto de fusión de la plata es de 1234°K, o sea de ..... °C.

* * * * *

°K = °C + 173

445°C + 273 = 718°K

1234°K − 273 = 961°C.

30. El empleo de la escala Kelvin nos permite escribir una ecuación de estado mucho más fácil de aplicar a problemas prácticos que la conocida:

$$V = V_{0°C} + \frac{t}{273} V_{0°C}.$$

En el panel 10 cambiamos el eje vertical, de 0°C (línea de trazos) a 0°K (línea continua), así es que nuestro nuevo origen está en $T = 0°K$ y $V = 0$. Entonces, la curva volumen-temperatura es una recta que al extenderse pasa por el (nuevo/viejo) origen. Esto indica que el volumen y la temperatura (Celsius/Kelvin) de un gas confinado a temperatura y presión constantes son (directamente/inversamente) proporcionales.

* * * * *

nuevo; Kelvin; directamente.

31. Sea k una constante de proporcionalidad, V el volumen de un gas y T su temperatura *Kelvin.* Entonces:

$V =$ ..... (m y p constantes).

o bien

$V/T =$ ..... (m y p constantes).

* * * * *

kT; k.

32. Tenemos dos ecuaciones de estado para un gas que está confinado a presión constante:

1) $V = V_{0°C} + \frac{t}{273} V_{0°C}$.

2) $V = kT$.

Para usar la ecuación (1) tenemos que medir el volumen original a ..... °C, que no es una temperatura a la que la mayoría de los científicos procuran trabajar, si se puede evitar. Para usar la ecuación (2) la único que se requiere es que las temperaturas se midan en la escala ....., lo que se logra con sólo agregar el valor 273 a *cualquier* temperatura que se dé en la escala .....

* * * * *

0; Kelvin; Celsius.

33. $V/T = k$ es un enunciado matemático de la ley de *Charles,* que afirma que el volumen de un gas que está ..... es (directa-

mente/inversamente) proporcional a su temperatura (Celsius/Kelvin), siempre que su ..... permanezca constante.

* * * * *

confinado; directamente; Kelvin; presión.

34. Enuncie la ley de Boyle.

* * * * *

El volumen de un gas que está confinado es inversamente proporcional a su presión, suponiendo una temperatura constante.

35. Enuncie la ley de Charles.

* * * * *

A presión constante, el volumen de un gas que está confinado es directamente proporcional a su temperatura *Kelvin.*

36. Regrese al panel 8 y lea el problema 3. El gas descrito aquí se ha mantenido a ..... y ..... constantes; esto quiere decir que su volumen y su temperatura ..... se relacionan en la ecuación: .....

* * * * *

En cualquier orden: presión, masa; Kelvin; $V/T = k$.

37. Panel 8, problema 3. Sean V_1 y T_1 respectivamente el volumen inicial y la temperatura en grados *Kelvin* del gas.

$V_1 =$ ..... cm^3.

$T_1 =$ ..... °K.

$k =$ ..... $cm^3/°K$.

* * * * *

200; 27°C + 273 = 300°K; $V_1/T_1 = k = \dfrac{200\ cm^3}{300°K} = 2/3\ cm^3/°K$.

38. Panel 8, problema 3. Sean V_2 y T_2 el volumen y la temperatura en grados Kelvin después del cambio de temperatura.

$k =$ ..... $cm^3/°K$.

$T_2 =$ ..... °K.

$V_2 =$ ..... cm^3.

* * * * *

2/3; 127°C + 273 = 400°K; $2/3\ cm^3/°K = V_2/T_2$;
$V_2 = (2/3\ cm^3/°K)\ (400°K) = 267\ cm^3$.

39. Panel 8. Lea el problema 4

$V_1 =$ ..... cm^3.

$T_1 =$ ..... °K.

$k =$ ..... $cm^3/°K$.

$V_2 =$ ..... cm^3.

$T_2 =$ ..... °K.

* * * * *

500; 273°C + 273 = 546°K; $k = V_1/T_1 = \dfrac{500\ cm^3}{546°K}$; 125 cm^3;

$T_2 = V_2/k = \dfrac{125\ cm^3}{500\ cm^3/546\ °K} = 136.5\ °K.$

40. El estado de un gas puede variar en cualquiera de las cuatro variables físicas que lo describen y que son: ....., ..., ... y ..... Para examinar cómo se relacionan entre sí dos de ellas, tenemos que mantener ..... las otras dos.

* * * * *

En cualquier orden: masa, presión, volumen, temperatura; constantes.

41. Para determinar cómo se relacionan entre sí la presión, el volumen y la temperatura de un gas, tenemos que mantener constante la ..... Una forma de la ecuación de estado que relaciona estas variables es: $pV/T = k$. Esto indica que el volumen de un gas que está confinado es (directamente/inversamente) proporcional a la presión que se le aplique y, (directamente/inversamente) proporcional a la temperatura *Kelvin.*

* * * * *

masa; inversamente; directamente.

42. Refiérase al panel 8. Lea el problema 5. El estado inicial del gas se describe como sigue:

$p_1 =$ ..... cm de mercurio.

$V_1 =$ ..... cm^3.

$T_1 =$ ..... °K.

$k =$ ..... $\dfrac{(cm^3)\ (cm\ de\ mercurio)}{°K}$.

* * * * *

76; 100;

$27°C + 273 = 300°K$;

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = k = \frac{(76 \text{ cm de mercurio})\ (100 \text{ cm}^3)}{300°K}$$

$$= \frac{76}{3} \frac{(\text{cm}^3)\ (\text{cm de mercurio})}{°K}.$$

43. Panel 8, problema 5. El estado final (después de enfriarse) del gas se describe como sigue:

$V_2 =$ ..... cm^3.
$T_2 =$ ..... °K.
$p_2 =$ ..... cm de mercurio.

* * * * *

25; $-73°C + 273 = 200°K$;

$$\frac{p_2V_2}{T_2} = k$$

$$\frac{(25 \text{ cm}^3)\ p_2}{200°K} = \frac{76}{3} \frac{(\text{cm}^3)\ (\text{cm de mercurio})}{°K}$$

$$p_2 = \frac{76}{3} \frac{(\cancel{\text{cm}^3})\ (\text{cm de mercurio})}{\cancel{°K}} \frac{200°\cancel{K}}{25\ \cancel{\text{cm}^3}}.$$

$p_2 \approx 203$ cm de mercurio.

44. Panel 8. Lea el problema 6.

$p_1 =$ ..... cm de mercurio.
$V_1 =$ ..... cm^3.
$T_1 =$ ..... °K.
$p_2 =$ ..... cm de mercurio.
$V_2 =$ ..... cm^3.
$T_2 =$ ..... °K.

* * * * *

100; 946; $200°C + 273 = 473°K$; 75; 500;

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = k = \frac{p_2V_2}{T_2}$$

$$\frac{(100)\ (946)}{473} = \frac{(75)\ (500)}{T_2}$$

$T_2 = 187.5°K$.

45. Panel 8. Lea el problema 7. ¿Qué es lo que permanece constante en esta situación? Escriba una ecuación para este gas, en función de las variables p y T y una constante de proporcionalidad k (*sugerencia:* comience con pV/T = constante y considere en lo que se convierte esto, si una de las tres variables no cambia).

* * * * *

La masa y el volumen; "pV/T = constante" indica que, si el volumen permanece constante, la presión y la temperatura Kelvin son directamente proporcionales. Por lo tanto, podemos escribir: $p/T = k$, o bien $p = kT$.

46. Panel 8, problema 7. El estado inicial del gas se describe así:

p_1 = ... atm.
T_1 = ... °K.

El estado final del gas se describe como:

T_2 = ... °K.
p_2 = ... atm.

* * * * *

0.75; −73°C + 273 = 200°K; 372°C + 273 = 600°K;

$$\frac{p_1}{T_1} = k\frac{p_2}{T_2}$$

$$\frac{0.75 \text{ atm}}{200°\text{K}} = \frac{p_2}{600°\text{K}}$$

$p_2 = 2.25$ atm.

47. Panel 8, problema 7.

1 atm = ... cm de mercurio.
2.25 atm = ... cm de mercurio.

* * * * *

76; 171.

Sección 7. La teoría cinética de los gases.

Nota: En las secciones anteriores de este capítulo hemos estudiado algunas de las propiedades observables de los gases y establecido algunas relaciones entre las variables físicas que los describen. Estas relaciones se llaman comúnmente leyes de los gases. En las secciones que siguen: (1) Reuniremos

un conjunto de hipótesis, acerca de los gases, basadas en estas leyes y observaciones; (2) usaremos estas hipótesis en conjunto con la mecánica newtoniana elemental para *deducir* las leyes de los gases y (3) emplearemos la teoría cinética para desarrollar una medida cuantitativa de la difusión y explicar otros fenómenos de los gases.

1. Ahora deseamos desarrollar una teoría de los gases que, entre otras cosas, explique las leyes que descubrimos en las secciones 5 y 6. Esto significa que tenemos que formular un conjunto de ..... acerca de los gases.

* * * * *

hipótesis.

2. En primer lugar, supondremos que un gas se compone de un gran número de partículas llamadas *moléculas.* La compresibilidad de los gases sugiere que la distancia entre las moléculas que lo forman es muy (grande/pequeña). Esto también sugiere que el volumen de una sola molécula (es/no es) despreciable, si se compara con el volumen del recipiente que contiene el gas.

* * * * *

grande; es.

3. Suponiendo que el volumen de una sola molécula es despreciable comparado con el volumen que ocupa el gas en conjunto, la compresión de un gas consiste en reducir la ..... entre las ..... del gas.

* * * * *

distancia; moléculas.

4. Basados en esta hipótesis, la compresión de un gas (debe/no tiene que) afectar el tamaño o la forma de cada molécula.

* * * * *

no tiene que.

5. ¿Qué otras dos propiedades de los gases se han observado y sugieren que las moléculas de un gas están en movimiento, más bien que en reposo?

* * * * *

la expansibilidad ilimitada y la rápida difusión.

6. La proporción en que se difunden los gases sugiere que el movimiento de sus moléculas probablemente es (rápido/lento). La expan-

sibilidad ilimitada sugiere que las moléculas de un gas se mueven en (la misma dirección/distintas direcciones).

* * * * *

rápido; distintas direcciones.

7. Entonces, debemos suponer que las moléculas de un gas se mueven *al azar*. Esto significa que se mueven con (la misma rapidez/distinta rapidez) y en (la misma dirección/distintas direcciones).

* * * * *

distinta rapidez; distintas direcciones.

8. Ahora tenemos la imagen teórica de un gas que se compone de muchas partículas llamadas ..... en continuo estado de movimiento al ..... El volumen que ocupa cualquiera de estas partículas es (despreciable/comparable al que ocupa el gas en sí).

* * * * *

moléculas; azar; despreciable.

9. Un gas ejerce presión sobre las paredes del recipiente que lo contiene, la cual, como nuestra teoría sugiere, puede resultar de las colisiones de las moléculas con las paredes. Si hay más moléculas bombardeando un lado que otro, debemos suponer que la presión en paredes diferentes sea (igual/desigual).

* * * * *

desigual.

10. La experimentación indica que hay la misma presión en todas las paredes del recipiente. Este hecho lo explica nuestra hipótesis de que las moléculas de un gas (tienen/no tienen) una dirección preferida en la que se muevan la mayoría. En otras palabras, el hecho de que la presión contra las paredes sea uniforme lo explica el movimiento ..... de las moléculas.

* * * * *

no tienen; al azar.

11. Si las hipótesis que tenemos hasta ahora son válidas y las aplicamos a un *gas que está confinado y a temperatura constante*, debemos poder usarlas para deducir la ley de .....

* * * * *

Boyle.

12. El primer paso en la deducción de la ley de Boyle a partir de estas hipótesis es preguntar: ¿Cómo se relaciona el movimiento de una molécula con la presión contra las paredes de un recipiente? La definición de presión implica las variables físicas ..... y .....

* * * * *

En cualquier orden: fuerza, área.

13. Nuestra deducción de la ley de Boyle debe comenzar considerando la ..... aplicada a la pared de un recipiente cuando una ..... del gas choca con ella.

* * * * *

fuerza; molécula.

14. Refirámonos al panel 11. En la Fig. 1, la masa m está rebotando entre las paredes A y B. Se mueve horizontalmente y el efecto de la gravedad sobre ella se despreciable. Sus interacciones con las paredes son *elásticas;* la masa y las paredes constituyen un sistema aislado, lo que significa que: [(1) la cantidad de movimiento y la energía cinética se conservan/(2) ni la cantidad de movimiento ni la energía cinética se conservan/(3) sólo se conserva la cantidad de movimiento].

* * * * *

(1).

15. Suponga que la pared tiene mucho más masa que m. Como resultado del bombardeo de m, la *pared* se mueve (apreciablemente/despreciablemente). Podemos asumir que las velocidades de m antes y después de la interacción con la pared son (iguales/diferentes).

* * * * *

despreciablemente; iguales.

16. Panel 11, Fig. 1. Considere positivo el movimiento hacia la izquierda y sea v la velocidad de m. La rapidez de m *antes* de interactuar con A es ..... (*use letra, flecha, etc.*); la velocidad de m *después* de la interacción con A es .....

$-\vec{v}$ (el movimiento hacia la derecha es negativo); $\vec{v}$.

17. Sea $\vec{P}_1$ la cantidad de movimiento de m antes de la interacción con A y $\vec{P}_2$ su cantidad de movimiento después de la interacción. El

cambio de cantidad de movimiento debido a la interacción es $\Delta\vec{P}$ = ...

* * * * *

$\vec{P}_2 - \vec{P}_1$

18. Panel 11, Fig. 1. En función de m y $\vec{v}$.

$\vec{P}_1$ = ...

$\vec{P}_2$ = ...

$\Delta\vec{P}$ = ...

* * * * *

$-m\vec{v}$; $m\vec{v}$; $m\vec{v} - (-m\vec{v}) = 2\ m\vec{v}$.

19. En mecánica aprendimos que la segunda ley de Newton se puede enunciar en función de $\Delta\vec{P}$ y Δt. $\vec{F}$ = ...

* * * * *

$$\frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}.$$

20. Panel 11, Fig. 1. La fuerza media aplicada por m a la pared A en una colisión está dada en función de m, $\vec{v}$ y Δt es el tiempo *total* entre colisiones. $\vec{F}$ = ...

* * * * *

$$\frac{2\ m\vec{v}}{\Delta t}.$$

En adelante omitiremos las flechas puesto que estamos interesados solamente en las magnitudes y los movimientos son hacia uno y otro lado a lo largo de una misma línea.

21. Panel 11, Fig. 1. $F = 2mv/\Delta t$. El intervalo de tiempo entre colisiones con A es Δt. Durante este tiempo, m está viajando con una velocidad v de A a B y de nuevo hacia A. Si la distancia entre A y B es L, la distancia recorrida durante Δt es..... L, y Δt = ... (en función de v y L).

* * * * *

2; $2L/v$ (distancia/velocidad = tiempo).

22. Panel 11, Fig. 1.

(1) La fuerza que aplica m a la pared A en una colisión es $F = 2mv/\Delta t$.

(2) Pero $\Delta t = 2L/v$,

(3) Por lo tanto, $F =$ ....., en función de m, L y v.

* * * * *

Substituyendo en (1) Δt con $2L/v$: $F = mv^2/L$.

23. Panel 11. Vea la Fig. 2. Este cubo contiene una masa constante de gas a temperatura constante. Estas (son/no son) las condiciones que se requieren para probar la ley de Boyle.

Puesto que se supone que el movimiento de las moléculas de un gas es al azar, descomponemos las velocidades de las moléculas en sus componentes a lo largo de los tres ejes: el x, el y y el z. Por sencillez, diremos que cada molécula se mueve hacia uno y otro lado a lo largo de uno de estos ejes. Los físicos dicen que cada molécula, por lo tanto, tiene *tres* grados de libertad.

Las moléculas que explican la presión contra la pared A deben moverse hacia uno y otro lado a lo largo del eje ..... La fracción de las moléculas que bombardean a A es de .....

* * * * *

son; x; 1/3.

24. Panel 11, Fig. 2. Llamemos m a la masa de cualquier molécula. Considere una de tales moléculas moviéndose a lo largo del eje x con una rapidez v. La fuerza que aplica sobre la pared A con el impacto, está dada por la siguiente expresión:

$F =$ ..... en función de m, v y L.

* * * * *

mv^2/L.

25. Panel 11, Fig. 2. Suponga que el número total de moléculas en el recipiente es N. El número de ellas que se supone que bombardea a A es ..... La fuerza total que este número de moléculas aplica a A es: $F =$ .....

* * * * *

$1/3N$ ó $N/3$; $N\dfrac{mv^2}{3L}$.

26. Panel 11, Fig. 2. $F = \dfrac{Nmv^2}{3L}$. Esta ecuación supone que todas las

moléculas de un gas se mueven con la misma rapidez v. ¿Está esto de acuerdo con nuestras hipótesis de los gases? (Sí/no). Explique.

* * * * *

no. Asumimos que las velocidades moleculares estaban distribuidas al azar.

27. Panel 11, Fig. 2. A pesar de que las moléculas de un gas se mueven con velocidades al azar, debe haber una velocidad promedio a la que llamaremos $\bar{v}$. Podemos entonces escribir con más precisión la ecuación para la fuerza promedio contra una de las paredes de este recipiente, si: $F =$ .....

* * * * *

$\frac{Nm\bar{v}^2}{3L}$ (no olvide la barra sobre la v).

28. Panel 11, Fig. 2. Si acortamos el lado L del recipiente, manteniendo N igual, en la ecuación L (aumenta/disminuye/permanece igual) y la fuerza total aplicada a la pared A (aumenta/disminuye/permanece igual). ¿Está esto de acuerdo con la ley de Boyle (Sí/no). Explique.

* * * * *

disminuye; aumenta; Sí. Al reducir la longitud del lado del cubo se reduce el volumen y, conforme a la ley de Boyle, esto conduce a un aumento de presión.

29. Panel 11, Fig. 2. $F = \frac{Nm\bar{v}^2}{3L}$.

Suponga que agregamos moléculas de gas al cubo y dejemos como están a la velocidad media de las moléculas y las dimensiones del cubo. La fuerza contra la pared A (aumentará/disminuirá/permanecerá igual). Explique.

* * * * *

aumentará. En la ecuación $F = \frac{Nm\bar{v}^2}{3L}$, si N aumenta, F también.

30. Panel 11, Fig. 2. Examine la ecuación que hemos desarrollado para la fuerza media de las moléculas de este gas contra la pared A a la luz del siguiente cambio: suponga que alguna influencia externa pudiera disminuir la velocidad media de las moléculas en el cubo, quedando iguales el número de moléculas y el volumen del recipiente. La fuerza sobre A (aumentaría/disminuiría/permanecería igual).

* * * * *

disminuiría.

31. Panel 11, Fig. 2. Definimos la presión como ..... entre la unidad de .....

* * * * *

fuerza; área.

32. Panel 11, Fig. 2. En función del lado L, el área de la pared A es igual a ..... La presión que ejerce el gas sobre el lado A es $p =$ ..... (en función de F y L).

* * * * *

L^2; F/L^2.

33. Panel 11, Fig. 2.

(1) $F = \dfrac{Nm\bar{v}^2}{3L}$.

(2) Dividiendo ambos miembros de (1) entre L^2 tenemos: $F/L^2 =$ .....

* * * * *

$\dfrac{Nm\bar{v}^2}{3L^3}$.

34. Panel 11, Fig. 2. La presión debida al bombardeo que las moléculas del gas confinado efectúan sobre la pared A es:

$p = 1/3$ ....., (en función de $\bar{v}$, N, m y L).

* * * * *

Puesto que $F/L^2 = p$,

$p = \dfrac{1}{3}\dfrac{Nm\bar{v}^2}{L^3}$.

35. Panel 11, Fig. 2. La cantidad L^3 es el ..... del cubo.

* * * * *

volumen.

36. Panel 11, Fig. 2. Sea V el volumen del recipiente; entonces $p =$ ..... (en función de N, m, $\bar{v}$ y V).

* * * * *

$\dfrac{1}{3}\dfrac{Nm\bar{v}^2}{V}$.

37. (1) $p = \frac{1}{3}\frac{Nm\bar{v}^2}{V}$.

(2) Multiplicando ambos miembros de (1) por V: $pV =$ .....

* * * * *

$1/3\ Nm\bar{v}^2$.

38. Nuestra (ley/teoría) sobre la composición molecular de los gases nos permite deducir la ecuación:

(1) ..... $= 1/3\ Nm\bar{v}^2$.

El comportamiento que hemos observado en los gases que están confinados y a temperatura constante nos da la ecuación:

(2) ..... $= k$.

* * * * *

teoría; pV; pV.

39. Si la expresión ..... es una constante cuando la ..... y la ..... son constantes, tendremos una deducción teórica de la ley de Boyle.

* * * * *

$1/3\ Nm\bar{v}^2$; *en cualquier orden:* masa, temperatura.

40. Examinemos la expresión $1/3\ Nm\bar{v}^2$. $1/3$ (es/no es) una constante. Puesto que se trata de un gas que está ....., N, que es el número de moléculas, (es/no es) una constante.

* * * * *

es; confinado; es.

41. Podemos demostrar que $1/3\ Nm\bar{v}^2$ es una constante, si el resto de la expresión, es decir, el producto .... también es una constante.

* * * * *

$m\bar{v}^2$.

42. La expresión $m\bar{v}^2$ debe recordarnos una cantidad física que ya antes vimos en este curso $1/2\ mv^2$ es la .... de una masa que se mueve con velocidad v.

* * * * *

energía cinética.

43. Hemos demostrado que:

1) $pV = 1/3\ N m\bar{v}^2$.

2) Escriba el miembro derecho de 1) en la forma: $(1/3N)\ (m\bar{v}^2)$.

3) Multiplique $(1/3\,N)$ por 2 para obtener ..... N.

4) Multiplique $m\bar{v}^2$ por 1/2 para obtener .....

* * * * *

2/3; $1/2\ m\bar{v}^2$.

44. $(2/3\ N)\ (1/2\ m\bar{v}^2)$ (equivale/no equivale) a $(1/3\,N)\,(m\bar{v}^2)$.

* * * * *

equivale. (Hemos multiplicado por 2 un factor y dividido entre 2 el otro. Puesto que $2 \times 1/2 = 1$, estamos, en efecto, multiplicando por 1).

45. $pV = (2/3\ N)\,(1/2 m\bar{v}^2)$.

$\bar{v}$ representa la velocidad ..... de las moléculas de un gas. $(1/2\ m\bar{v}^2)$ representa la energía ..... de las moléculas de un gas.

* * * * *

media; cinética media.

46. Una de las leyes de los gases que hemos empleado en secciones anteriores es $pV/T = k$. Esto puede escribirse en la forma: $pV = k$ .....

* * * * *

T.

47. 1) La observación indica que $pV = kT$.

2) Nuestra teoría nos hace pensar que $pV = (2/3\,N)\ (1/2\ m\bar{v}^2)$.

3) De 1) y 2): $(2/3N)\ (1/2\,m\bar{v}^2) =$ .....

4) La ecuación 3) sugiere otra hipótesis más en nuestra teoría de los gases, a saber, que la .... media de las moléculas de un gas es (directamente/inversamente) proporcional a la temperatura ..... del gas.

* * * * *

kT; energía cinética; directamente; Kelvin.

48. Panel 11, Fig. 2. $pV = 1/3\ N m\bar{v}^2$. Hemos demostrado que "1/3" y "N" son constantes. Si la temperatura del gas también es constante,

la expresión $m\bar{v}^2$ (es/no es) constante. Partiendo de la hipótesis de nuestra teoría de los gases (hemos/no hemos) podido deducir la ley de Boyle.

* * * * *

es; hemos.

49. Para llegar a al ecuación $pV = 1/3\ Nm\bar{v}^2$, tuvimos que suponer que los gases se componen de ..... en movimiento rápido y .... y que la ..... que ejerce el gas es el resultado de las colisiones de estas partículas con las paredes del recipiente. Para demostrar que esta ecuación equivale a la ley de Boyle (y a la ley general de los gases $pV/T = k$), tuvimos que suponer además que la .... del gas y la .... de sus moléculas son (directamente/inversamente) proporcionales entre sí.

* * * * *

moléculas; al azar; presión; temperatura Kelvin; energía cinética media; directamente.

50. No hemos considerado la posibilidad de que las moléculas puedan estar girando y moviéndose también en forma lineal.

Una masa que gira en una posición, como *B*, tiene movimiento de *rotación*. *P* se mueve de una posición a otra pero no gira. Se dice que *P* tiene movimiento de *translación*. En la expresión $1/2\ m\bar{v}^2$, $\bar{v}$ se refiere a la rapidez de (rotación/translación) de *m*.

* * * * *

translación.

51. $1/2\ m\bar{v}^2$ describe la energía cinética media de (translación/rotación) de *m*.

* * * * *

translación.

52.

P tiene energía cinética de ....., sin tener energía cinética de ..... (*W*/*D*) tiene ambas.

* * * * *

translación; rotación; *W*.

53. $pV = (2/3\ N)\ (1/2\ m\bar{v}^2)$.
Esta ecuación (se refiere/no se refiere) a la energía cinética media de rotación de m. La temperatura Kelvin de un gas es directamente proporcional a la energía cinética media de (translación/rotación/translación y rotación) de las moléculas del gas.
* * * * *
no se refiere; translación.

54. La temperatura es una variable física y siempre que sea posible trataremos de relacionarla con variables mecánicas tales como masa, tiempo, longitud, velocidad, etc. Hemos relacionado la temperatura Kelvin de un gas con una cantidad mecánica llamada .... media de (rotación/translación) de sus moléculas.
* * * * *
energía cinética; translación.

55. Podemos generalizar esta relación para aplicarla a substancias en el estado en que estén (gaseoso, líquido o sólido). La temperatura de un sólido (es/no es) una medida de la energía cinética media de translación de sus moléculas.
* * * * *
es.

56. Tenemos un vaso de agua cuya temperatura es de 290°K. Esta es una medida de la ..... (*complete*).
* * * * *
energía cinética media de translación de sus moléculas.

57. Para aumentar la temperatura de una substancia la calentamos. Sin embargo, la experiencia indica que no siempre es cierto que todo el calor, o aun parte de él, se convierta en un aumento de temperatura. Por ejemplo, si aplicamos calor continuamente al hielo, la temperatura de éste se eleva hasta su punto de fusión, 273°K, *quedándose ahí* hasta que se funde todo el hielo. La ausencia de aumento de temperatura *mientras el hielo se funde* indica que el calor que absorbe durante ese tiempo [(1) se está convirtiendo en un aumento de la energía cinética de translación de las moléculas,/(2) se está convirtiendo en alguna o varias formas de energía diferentes a la energía cinética de translación)].
Si calentamos un gas cuyas moléculas puedan girar, (es/no es) probable que *todo* el calor absorbido se transforme en un aumento de la energía cinética de translación de las moléculas del gas.
* * * * *
(2); no es.

58. ¿Cuál de los siguientes enunciados es verdadero?

(1) Todo el calor que absorbe un gas se refleja siempre en un aumento proporcional de su temperatura Kelvin.
(2) Es probable que solamente parte del calor que absorbe un gas se refleje en un aumento de su temperatura Kelvin.

* * * * *

(2).

59. En una sección anterior enunciamos una ley de los gases que relaciona las variables ....., ... y ..... mientras la ..... se mantiene constante.

* * * * *

En cualquier orden: presión, volumen, temperatura; masa.

60. Ahora estamos en condiciones de escribir una ecuación de estado que relacione las cuatro variables, sin permanecer *constante ninguna* de ellas. Hemos demostrado que (1) $pV = (2/3\ N)\ (1/2\ m\bar{v}^2)$. Sea $\bar{E}_k$ la energía cinética media de translación de las moléculas. Substituyendo $\bar{E}_k$ en la ecuación (1), tenemos que $pV =$ .....

* * * * *

$(2/3\ N)\ (\bar{E}_k)$.

61. $\bar{E}_k$ es directamente proporcional a la ..... del gas. Usando $3/2\ k$ como constante de proporcionalidad (la razón de usar el factor 3/2 se hará evidente en breve) podemos escribir la ecuación: $\bar{E}_k = (3/2\ k)$ .....

* * * * *

temperatura Kelvin; T.

62. (1) $pV = (2/3\ N)\ (\bar{E}_k)$.

(2) Puesto que $\bar{E}_k = (3/2\ k)\ T$,
$pV =$ ..... (en función de N, T y k y reducida a su forma algebraica más simple).

* * * * *

$$pV = \tfrac{2}{2}N \cdot \tfrac{2}{2}k\ T$$
$$= NkT$$

(Note que el uso de $3/2\ k$ como constante de proporcionalidad en el marco 61 no tuvo más objeto que eliminar en este marco los 2/3 de $2/3\ N$).

63. $pV = NkT$ es una forma de expresar la *ley de los gases ideales.* La masa del gas está representada aquí por ....., que denota el ..... de moléculas del gas. La constante de proporcionalidad k se llama constante de Boltzmann y es una de las más importantes de la física. El valor que usaremos en este curso es $k = 1.38 \times 10^{-23}$ joule/°K. Este es el valor de k que se emplea cuando el ..... del gas se mide en m^3 y su ..... en N/m^2. T representa la temperatura del gas medida en la escala (Kelvin/Celsius).

* * * * *

N; número; volumen; presión; Kelvin.

64. La *ley de los gases ideales* relaciona las cuatro variables asociadas a un gas. La ecuación que hemos deducido aquí es: $pV =$ ..... donde N representa el ..... de ..... del gas bajo consideración y k se llama constante de .....

* * * * *

NkT; número; moléculas; Boltzmann.

Sección 8. La teoría cinética (continuación). La ley y el número de Avogadro. La ley de Graham. La velocidad cuadrática media (vcm) de un gas. Los cambios de temperatura — Expansión y compresión.

1. Muchos años antes de formularse la teoría cinética, el físico Avogadro basándose en ciertos experimentos enunció lo siguiente: Volúmenes iguales de gases *diferentes* a la misma temperatura y presión, contienen *el mismo número* de moléculas. Es sabido que una molécula de oxígeno tiene una masa 16 veces mayor que la de una molécula de hidrógeno. Suponga que se introducen estos gases en recipientes separados de 1000 cm^3 de volumen cada uno, ejerciendo también cada uno una presión de 10 atmósferas y a una temperatura de 283°K. La ley de Avogadro nos dice que el número de moléculas del hidrógeno es (mayor que el/menor que el/igual al) número de moléculas del oxígeno.

* * * * *

igual al.

2. Estamos en posibilidad de deducir la ley de Avogadro a partir de la teoría cinética de los gases. Tenemos dos gases diferentes, A y B, en recipientes con volúmenes V_A y V_B, a presiones p_A y p_B. Las condiciones

de la ley de Avogadro son que $p_A =$ ..... y $V_A =$ ....., de lo que se deduce que $p_A V_A =$ .....

* * * * *

p_B; V_B; $p_B V_B$.

3. Sean N_A y N_B el número de moléculas en A y B respectivamente. Sean m_A y m_B y $\bar{v}_A$ y $\bar{v}_B$ las masas y las velocidades medias de las moléculas de A y B.

(1) $p_A V_A = (2/3\ N_A)\ (1/2\ m_A \bar{v}_A^2)$

y

$p_B V_B = (2/3\ N_B)\ (1/2\ m_B \bar{v}_B^2)$.

(2) Puesto que una de las condiciones de la ley de Avogadro es que: $p_A V_A = p_B V_B$, entonces $(2/3\ N_A)\ (1/2\ m_A \bar{v}_A^2) =$ .....

(3) Pero, si dos gases tienen la misma temperatura Kelvin, sus moléculas tienen la misma .... Esto significa que $1/2\ m_A \bar{v}_B^2 =$ .....

(4) De donde se deduce que $N_A =$ .....

* * * * *

$(2/3\ N_B)\ (1/2\ m_B \bar{v}_B^2)$; energía cinética media; $1/2\ m_B \bar{v}_B^2$; N_B.

4. Hemos demostrado que si $p_A = p_B$ y $V_A = V_B$ y los gases A y B tienen el(la) mismo(a) ....., A y B continen (el mismo número/diferentes número) de moléculas.
En efecto, hemos deducido la ley de ..... a partir de la teoría ..... de los gases.

* * * * *

temperatura; el mismo número; Avogadro; cinética.

5. La ley de Avogrado (nos dice/no nos dice) cuántas moléculas contiene un volumen dado de un gas, a una temperatura y una presión específicas. En la sección 7 deducimos la ley de los gases ideales en función de p, V, N y T. La ecuación de esta ley es la siguiente: .... N representa ..... (*complete*).

* * * * *

no nos dice; $pV = NkT$; el número de moléculas del gas bajo consideración.

6. Suponga que queremos encontrar el número de moléculas que hay en 0.0224 m^3 de oxígeno a TPN.

k (constante de Boltzmann) = ... joule/°K
p = ... atm = ... N/m². } Use los datos de la cubierta de respuestas.
T = ... °K.
V = ... m³.
* * * * *

1.38×10^{-23}; 1 atm = 1.01×10^5 N/m²; 273; 0.0224 (el estudiante que haya llevado un curso de química recordará que 0.0224 m³ = 22.4 litros, que es un volumen molar).

7. Use los datos del cuadro anterior en la ecuación de la ley de los gases ideales y calcule el número de moléculas que hay en 0.0224 m³ de gas de oxígeno (*sugerencia:* podrá eliminar unidades con más facilidad si cambia joule/°K por N-metro/°K).
* * * * *

$pV = NkT$.

$(1.01 \times 10^5 \text{ N/m}^2)(0.0224 \text{ m}^3) = (1.38 \times 10^{-23} \text{ N-m/°K})(273°\text{K})\,N$

$$N = \frac{(1.01 \times 10^5)(0.0224)}{(1.38 \times 10^{-23})(273)} = 6.02 \times 10^{23}.$$

8. Este valor, que se conoce como *número de Avogadro,* es muy importante, especialmente en química. Se le representa con el símbolo N_0 (llamado también N índice cero). Puesto que 1 m³ = 1000 litros, N_0 es el número de moléculas en un volumen de ..... litros de gas a ..... (*complete las condiciones*).
* * * * *

0.0224 m³ × 1000 litros/m³ = **22.4 litros;** temperatura y presión normales (0°C 273°K y 1 atm de presión).

9. N_0 = ... moléculas. Se llama número de ..... y es el número de moléculas que hay en ..... litros (o .... m³) de cualquier gas, cuando:
p = ...N/m², y
T = ... °K.
* * * * *

6.02×10^{23}; Avogadro; 22.4 litros (0.0224 m³); 1.01×10^5; 273.

10. Alrededor de 1830, tiempo antes de que se desarrollara la teoría cinética de los gases, Graham estableció experimentalmente que la *velocidades* de difusión de los gases es *inversamente proporcional a la raíz cuadrada de sus pesos moleculares.* El peso molecular de una subs-

tancia es una medida proporcional de la masa de una molécula de esa substancia. El peso molecular del oxígeno es 32, el del hidrógeno es ..... (*número*) veces la masa de una de oxígeno. De acuerdo con Graham el hidrógeno debería difundirse ..... veces más rápidamente que el oxígeno.

* * * * *

1/16; 4.

11. La ley de Graham es un enunciado acerca de los gases que podemos deducir de la teoría cinética. Es lógico suponer que la velocidad de difusión de un gas dependa de la ..... media de sus moléculas.

* * * * *

velocidad.

12. Podemos comparar las velocidades de difusión de dos gases comparando las velocidades de sus moléculas. Dados los gases *A* y *B* a la *misma* temperatura: $1/2 m_A \bar{v}_A^2 =$ .....

* * * * *

$m_B \bar{v}_B^2$

13. (1) $1/2\, m_A \bar{v}_A^2 = 1/2\, m_B \bar{v}_B^2$.

(2) Multiplicando por 2 ambos miembros, dividiéndolos entre $v_B^2 m_A$ y simplificando, el resultado es: $\frac{\bar{v}_A^2}{\bar{v}_B^2} =$ .....

* * * * *

$\frac{m_B}{m_A}$

14. A la misma ....., $\frac{\bar{v}_A^2}{\bar{v}_B^2} = \frac{m_B}{m_A}$ o bien $\frac{\bar{v}_A}{\bar{v}_B} =$ .....

Hemos demostrado que las velocidades moleculares medias de los gases *A* y *B* son (directamente/inversamente) proporcionales a la .... de las masas de sus moléculas.

* * * * *

temperatura; $\sqrt{m_B/m_A}$; inversamente; raíz cuadrada.

15. Refiérase al panel 5, experimento A. El tubo de vidrio mide 100 cm de largo. El anillo blanco de cloruro de amonio se forma a 40 cm del tapón de algodón empapado en ácido clorhídrico. Esto significa que el (amoniaco/cloruro de hidrógeno) se difunde más aprisa.

* * * * *

amoniaco (recorre 60 cm en el mismo tiempo en que el cloruro de hidrógeno recorre 40).

16. Panel 5, experimento A. Las velocidades medias de las moléculas del amoniaco y del cloruro de hidrógeno son directamente proporcionales a las distancias que han recorrido en el mismo tiempo. Empleando distancias:

$$\frac{\bar{v}_{\text{amoniaco}}}{\bar{v}_{\text{cloruro de hidrógeno}}} = \ldots\ldots\ldots \textit{(número)}$$

Mediciones químicas indican que el cociente de los pesos moleculares de amoniaco y cloruro de hidrógeno es de 17/36.5. Hemos demostrado que la velocidad media de las moléculas es (directamente/inversamente) proporcional a la ..... de los ..... de las substancias implicadas. Usando pesos moleculares:

$$\frac{\bar{v}_{\text{amoniaco}}}{\bar{v}_{\text{HCl}}} = \ldots\ldots\ldots \textit{(número)}.$$

* * * * *

60 cm/40 cm = 1.5; inversamente; raíz cuadrada; pesos moleculares;

$$\frac{\bar{v}_{\text{amoniaco}}}{\bar{v}_{\text{HCl}}} = \sqrt{\frac{M_{\text{HCl}}}{M_{\text{amoniaco}}}} = \sqrt{36.5/17} = 1.46$$

(que es un valor muy cercano a 1.5).

17. Sean R_A y R_B las velocidades de difusión de los gases A y B respectivamente, m_A y m_B las masas de las moléculas de estos gases y M_A y M_B los pesos moleculares de los gases. Seleccione una ecuación de cada paréntesis rectangular.

1) $\left[\dfrac{R_A}{R_B} = \dfrac{\bar{v}_B}{\bar{v}_A} \Big/ \dfrac{R_A}{R_B} = \dfrac{\bar{v}_A}{\bar{v}_B}\right]$

2) $\left[\dfrac{M_A}{M_B} = \dfrac{m_A}{m_B} \Big/ \dfrac{M_A}{M_B} = \sqrt{\dfrac{m_A}{m_B}} \Big/ \dfrac{M_A}{M_B} = \dfrac{m_B}{m_A}\right]$

3) $\left[\dfrac{R_A}{R_B} = \dfrac{M_A}{M_B} \Big/ \dfrac{R_A}{R_B} = \dfrac{M_B}{M_A} \Big/ \dfrac{R_A}{R_B} = \sqrt{\dfrac{M_A}{M_B}} \Big/ \dfrac{R_A}{R_B} = \sqrt{\dfrac{M_B}{M_A}}\right]$

* * * * *

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{\bar{v}_A}{\bar{v}_B}$$

$$\frac{M_A}{M_B} = \frac{m_A}{m_B}$$

$$\frac{R_A}{R_B} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}}$$

18. Con anterioridad dedujimos la ecuación $p = \frac{Nm\bar{v}^2}{3V}$. Escríbala de nuevo en la forma $p = \frac{Nm}{V}\left(\frac{\bar{v}^2}{3}\right)$. Nm representa el(la) ..... del gas bajo consideración y $\frac{Nm}{V}$ representa el(la) ..... del gas bajo consideración.

* * * * *

masa; densidad (masa entre unidad de volumen).

19. (1) $p = \left(\frac{Nm}{V}\right)\frac{\bar{v}^2}{3}$.

(2) Sea $\rho = \frac{Nm}{V}$ y substituyendo en (1), el resultado es:

$p =$ .....

* * * * *

$\frac{\rho\bar{v}^2}{3}$.

20. (1) $p = \frac{\rho\bar{v}^2}{3}$.

(2) despejando $\bar{v}$ en (1), $\bar{v} =$ .....

* * * * *

$\sqrt{\frac{3p}{\rho}}$.

21. A la expresión $\sqrt{\frac{3p}{\rho}}$ a menudo se le llama velocidad cuadrática media (vcm) de las moléculas de un gas; es un método para calcular la velocidad ..... de las moléculas de un gas, conociendo la ..... y la ..... del gas.

* * * * *

media; *en cualquier orden:* presión, densidad.

22. La velocidad cuadrática media *no es* la única velocidad media que se puede calcular, aunque es la que nos interesa en este curso, y se calcula con la ecuación: $vcm = \ldots\ldots\ldots$

* * * * *

$\sqrt{\frac{3p}{\rho}}$.

23. El nitrógeno constituye 4/5 de lo que llamamos aire. Tendremos una idea de la rapidez con que se mueven las moléculas del aire si calculamos la velocidad ..... del nitrógeno.

* * * * *

cuadrática media.

24. Refiérase al panel 8 y lea el problema 8. La masa del nitrógeno es de ..... kg, su volumen es de ..... m^3, su densidad es de ..... kg/m^3.

* * * * *

10.28 kg — 10.00 kg = **0.28** kg.

0.224

$$\rho = \frac{0.28 \text{ kg}}{0.224 \text{ m}^3} = \mathbf{1.29} \text{ kg/m}^3.$$

25. Panel 8, problema 8.

$\rho = 1.29$ kg/m³.

$p = 76$ cm de mercurio = ... N/m^2.

1 newton equivale a 1 kg × m/seg². Substituya los newtons en N/m^2 y simplifique.

* * * * *

1.01×10^5;

$$\frac{N}{m^2} = \frac{kg \times m/seg^2}{m^3} = \frac{kg \times m}{m^2 \times seg^2} = \frac{kg}{m \times seg^2}$$

(use esto en el cuadro 26).

26. Panel 8, problema 8. Calcule la *vcm* del nitrógeno.

* * * * *

$$vcm = \sqrt{\frac{3p}{\rho}} = \sqrt{\frac{3\ (1.01 \times 10^5)\ kg/m \times seg^2}{1.29\ kg/m^3}}$$

$$= \sqrt{\frac{3\ (1.01 \times 10^5)}{1.29}\ m^2/seg^2} = 484\ m/seg.$$

27. Refiérase al panel 11. Examine la Fig. 3. El gas confinado en el cilindro está bajo la presión que ejercen el peso del pistón y la pesa que está sobre él. Si retiramos la pesa, la presión sobre el gas (aumentará/disminuirá) y su volumen (aumentará/disminuirá).

* * * * *

disminuirá; aumentará.

28. Panel 11. En la Fig. 4 se ha retirado la pesa y el pistón se movió hacia (arriba/abajo) y la temperatura T_2 es (mayor que/menor que/igual a) la temperatura T_1.

* * * * *

arriba; menor que.

29. Panel 11, Figs. 3 y 4. A medida que el pistón expande el gas, su temperatura (aumenta/disminuye). Podemos explicar este efecto de la expansión en función de la teoría cinética. Al retirar la pesa, el gas empuja al pistón hacia arriba, es decir, a medida que el gas se ...., realiza un ..... sobre el pistón.

* * * * *

disminuye; expande; trabajo.

30. Panel 11, Figs. 3 y 4. Puesto que el gas realiza un trabajo al expandirse, debe emplear parte de su energía. La energía disponible es la energía ..... de las moléculas del gas.

* * * * *

cinética.

31. Panel 11, Figs. 3 y 4. Conforme a la teoría cinética, el trabajo realizado por el gas significa que (hay un aumento/hay una disminución/no hay cambios) en la energía cinética media de translación de sus moléculas, lo que debe reflejarse en (un aumento/una disminución/ningún cambio) en la temperatura del gas.

* * * * *

hay una disminución; una disminución.

32. Cuando un gas se expande contra un pistón, (el gas trabaja/se realiza un trabajo sobre el gas). Cuando se comprime un gas (como por ejemplo, una fuerza externa empujando hacia abajo al pistón), (el gas trabaja/se realiza un trabajo sobre el gas).

* * * * *

el gas trabaja; se realiza un trabajo sobre el gas.

33. Panel 11, Figs. 3 y 4. Cuando alguna fuerza externa realiza un trabajo sobre el gas (debe haber un aumento/debe haber una disminución/no debe haber cambios) en la energía cinética media de translación de sus moléculas y esto se reflejará en (un aumento/una disminución/ningún cambio) en su temperatura.

* * * * *

debe haber un aumento; un aumento.

34. Sobre las moléculas de un gas (expandido†/comprimido) se ha realizado un trabajo; como resultado, su energía cinética de translación (aumenta/disminuye) y el gas se (enfría/calienta). Las moléculas de un gas (expandido†/comprimido) realizan un trabajo; como resultado, su energía cinética media de translación (aumenta/disminuye) y el gas se (enfría/calienta).

†Suponga una expansión contra algo como un pistón.

* * * * *

comprimido; aumenta; calienta; expandido; disminuye; enfría.

35. *Repaso:* El conjunto de hipótesis que explican la ley de Boyle y otras propiedades que se observan en los gases se llama .... (*complete*).

* * * * *

teoría cinética de los gases.

36. *Repaso:* 6.02×10^{23} se llama número de ..... Es el número de ..... que hay en un gas que ocupa un volumen de ..... m^3 a ..... (*enuncie condiciones*).

* * * * *

Avogadro; moléculas; 0.0224; temperatura y presión normales.

37. *Repaso:* La ley de Avogadro establece que en volúmenes (iguales/desiguales) de diferentes gases a (la misma temperatura/distintas temperaturas) y a (la misma presión/presiones diferentes) hay .... (*completa*).

* * * * *

iguales; la misma temperatura; la misma presión; el mismo número de moléculas.

38. *Repaso:* Relacionamos las cuatro variables de los gases en la ley de los gases ....., que se escribe matemáticamente así: ... .

* * * * *

ideales; $pV = NkT$.

39. *Repaso:* La constante de proporcionalidad de la ley de los gases ideales se llama constante de .....

* * * * *

Boltzmann.

40. Refiérase al panel 8. Lea el problema 9.

Use $k = 1.38 \times 10^{-23}$ joules/°K
$p =$ ..... N/m^2
$V =$ ..... m^3
$T =$ ..... °K
$N =$ ..... moléculas.

* * * * *

10 atm = (10) (1.01×10^5) $N/m^2 = \mathbf{1.01 \times 10^6\ N/m^2}$.
0.01.

27°C + 273 = 300°K

$pV = NkT$, por lo tanto $N = pV/kT$

$$N = \frac{(1.01 \times 10^6)\ (0.01)}{(1.38 \times 10^{-23})\ (300)} = 2.4 \times 10^{24}$$

41. Panel 8, problema 10. En este caso:

$N =$ .... moléculas
$V =$ ..... m^3
$T =$ ..... °K
$p =$ ..... N/m^2

* * * * *

1; 1 $cm^3 = 10^{-6}$ m^3; 100; $pV = NkT$

$$p = \frac{Nkt}{V} = \frac{(1)\ (1.38 \times 10^{-23})\ (100)}{10^{-6}} = \mathbf{1.38 \times 10^{-15}\ N/m^2}.$$

42. Panel 8, problema 10. Calcule la respuesta a este problema en atm y en cm de mercurio.

* * * * *

1.01×10^5 $N/m^2 = 1$ atm

$$1\ N/m^2 = \frac{1}{1.01 \times 10^5}\ \text{atm}$$

$$(1.38 \times 10^{-15})\ \text{N/m}^2 = \frac{1.38 \times 10^{-15}}{1.01 \times 10^5}\ \text{atm} = \mathbf{1.36 \times 10^{-20}\ atm}$$

1 atm = 76 cm de mercurio

1.36×10^{-20} atm = (1.36×10^{-20}) (76) cm de mercurio

$= \mathbf{1.04 \times 10^{-18}}$ cm de mercurio.

47. Panel 8, problema 11. Tenemos una ecuación para calcular la *vcm* de las moléculas de un gas: *vcm* = ...

* * * * *

$\sqrt{3p/\rho}$.

44. Panel 8, problema 11.

p = ... N/m^2

ρ = ... kg/m^3 (vea el panel 4)

vcm = ... m/seg.

* * * * *

$$1.01 \times 10^5;\ 0.0899;\ vcm = \sqrt{\frac{3\ (1.01 \times 10^5)}{0.0899}} = \mathbf{1.8 \times 10^3}\ \text{m/seg.}$$

45. *Repaso:* Escriba una ecuación que relacione la velocidad media de dos gases, x y y, a la misma temperatura, en función de sus masas m_x y m_y y de sus respectivas moléculas.

* * * * *

$$\frac{\bar{v}_x}{\bar{v}_y} = \sqrt{\frac{m_y}{m_x}}$$

ó

$$\frac{\bar{v}_x^2}{\bar{v}_y^2} = \frac{m_y}{m_x}$$

46. *Repaso:* 1) Explique por qué se calienta un gas al comprimirlo. 2) Explique por qué se enfría un gas al expanderse contra una fuerza externa.

* * * * *

1) Porque se realiza un trabajo sobre él. Esto aumenta la energía cinética media de sus moléculas, hecho que se refleja en un aumento de temperatura. 2) Las moléculas del gas trabajan contra la fuerza externa. Esto disminuye su energía cinética media, lo que significa un descenso de temperatura.

Sección 9. Desviaciones con respecto a las leyes de los gases ideales. Ajustes en la teoría cinética. La ecuación de estado de Van der Waals. El efecto Joule-Thomson y su explicación.

Nota: La ley de los gases *ideales* recibe este nombre porque se aplica estricta y exclusivamente al gas que describe la teoría cinética. En cierto grado, es decir, bajo un rango relativamente amplio de condiciones, todos los gases reales se comportan como uno ideal. No obstante, a pesar de que la teoría cinética (y esto se aplica a todas las teorías) es una herramienta teórica muy útil para resolver un amplio rango de problemas e interpretar un vasto conjunto de datos experimentales, no describe los gases *reales* bajo *todas* las condiciones. Por lo tanto, en esta sección se tratarán algunas desviaciones con respecto a la ley de los gases ideales y las hipótesis de la teoría cinética que deben corregirse para explicar tales divergencias.

1. Refirámonos al panel 12. Este panel es una lista de .... (*complete*).
* * * * *
hipótesis formuladas en la teoría cinética de los gases.

2. Llamamos ideal a un gas que se comporta conforme a las hipótesis de la teoría cinética o conforme a leyes que pueden deducirse de ella. Un gas en el que el producto pV *varía* mientras m y T permanecen constantes (es/no es) ideal.
* * * * *
no es (porque no se comporta conforme a la ley de Boyle, que se deduce de la teoría cinética).

3. Un gas en el que $pV \neq NkT$ (es/no es) ideal.
* * * * *
no es.

4. Todos los gases *reales,* como el nitrógeno, el oxígeno, el anhídrido carbónico, etc., *bajo ciertas circunstancias,* se comportan conforme a la lista de hipótesis del panel 12. Los gases reales (a veces/nunca/siempre) se comportan como un gas ideal.
* * * * *
a veces.

5. Cuando el aire se comporta en tal forma que $pV =$ constante, (está/no está) comportándose como un gas ideal.
* * * * *
está.

6. Bajo ciertas condiciones (que en breve trataremos) el aire no se comporta en tal forma que $pV = NkT$. Bajo estas condiciones, el aire (es/no es) un gas ideal.
* * * * *

no es.

7. Vea el panel 13. Las curvas de las figuras 1 y 2 representan la relación entre presión y volumen de un gas ideal cuando la masa y la temperatura se mantienen constantes. Estas curvas son (parábolas/hipérbolas/elipses) y representan la ecuación ..... = ...
* * * * *

hipérbolas; $pV = k$ ó $pV =$ constante.

8. Panel 13, Figs. 1 y 2. Debido a que estas curvas describen relaciones entre presión y volumen a temperatura constante, también se les llama iso.....
* * * * *

(iso) termas.

9. Panel 13. En la Fig. 1, los puntos dentro de cuadros son valores p y V del gas real que llamamos aire. La escala de presión de la Fig. 1 es de cero a ..... atm. En esta escala el aire (se/no se) comporta como gas ideal.
* * * * *

400; se (excepto en el punto entre 300 y 400 atm, todos los puntos están muy cerca de la isoterma).

10. Panel 13. En la Fig. 1, el aire comienza a desviarse sensiblemente del comportamiento del gas ideal en algún valor entre ..... y ..... atm. El intervalo de presiones graficado en la Fig. 2 es entre cero y ..... atm. En este intervalo mayor el aire se comporta (más/menos) como gas ideal que en la Fig. 1.
* * * * *

300; 400; 5000; menos.

11. Panel 13, Figs. 1 y 2. La ecuación $pV =$ constante no se aplica al aire a presiones (mayores/menores) de 500 atm.
* * * * *

mayores.

12. El aire se somete a las hipótesis y predicciones de la teoría cinética a presiones relativamente (altas/bajas).
* * * * *

bajas.

13. Panel 13. Lo que hemos demostrado con respecto al aire en las Figs. 1 y 2 es generalmente válido para los gases, a pesar de que los intervalos de presión de diferentes gases reales varían mucho. A medida que se (aumente/disminuya) la presión que se aplique a cualquier gas real, será *menos* probable que se comporte como gas ideal.

* * * * *

aumente.

14. Panel 13. Los términos "alta" y "baja" aplicados a presiones en un gas son *respecto* al gas que se considere y quedan determinados por experimentos que den datos semejantes a los del aire, graficados en las Figs. 1 y 2, pero aparecen divergencias con respecto a la curva del gas ideal en un intervalo un poco diferente dependiendo del gas. Si se hicieran pruebas con hidrógeno en vez de aire, (debemos/no debemos) suponer que el intervalo en que se comporte como gas ideal sea el mismo que para el aire en las Figs. 1 y 2.

* * * * *

no debemos.

15. Podemos decir que todo gas real se somete a la teoría cinética, a presiones relativamente (altas/bajas). El intervalo real en que existe esta concordancia queda determinado por .....

* * * * *

bajas; experimentos (pruebas, etc.) con el gas bajo consideración.

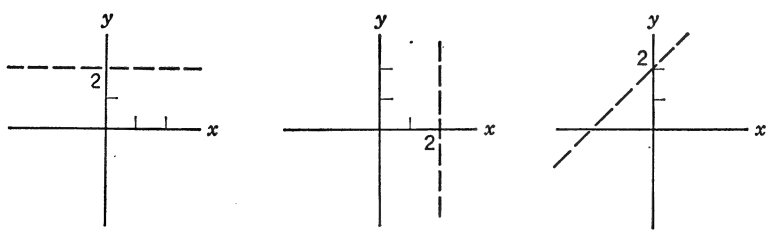
16. Podemos definir un gas ideal como aquel en el que el producto pV† es (constante/variable). Cuando el producto pV† es (constante/variable), un gas real no se está comportando como uno ideal.

† Suponga constantes la temperatura y la masa.

* * * * *

constante; variable.

17.

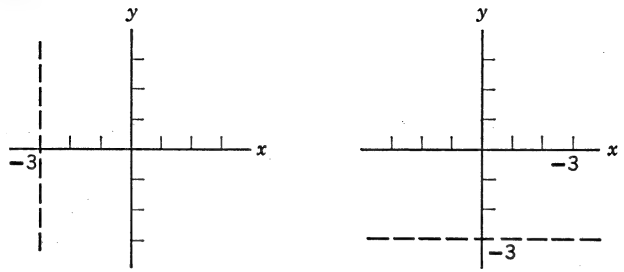


(a) (b) (c)

¿Cuál de las anteriores es una gráfica de $y = 2$? $(a/b/c)$.
* * * * *

a.

18.



(a) (b)

¿Cuál de éstas es la gráfica de $y = -3$? $(a/b/c)$.
* * * * *

b.

19. La gráfica de $y =$ constante es una (recta/curva) paralela al eje (x/y).
* * * * *

recta; x.

20. Suponga que pV = constante y que graficamos el valor del *producto* pV en el eje vertical y el valor de p en el horizontal. La gráfica es una (recta/curva) (horizontal/vertical).
* * * * *

recta; horizontal (paralela al eje p).

21. Panel 13. Vea la Fig. 3. Es una gráfica de ..... =.....
* * * * *

$pV = k$.

22. Panel 13, Fig. 3. Suponga que la recta se extiende indifinidamente hacia la derecha. Esto indica que para (todos los valores/algunos valores/ningún valor) de p el producto pV es una constante $(pV = k)$. Entonces la Fig. 3 es la gráfica que suponemos para un gas real, si éste (siempre/a veces/nunca) se comporta como gas ideal.
* * * * *

todos los valores; siempre.

23. Panel 13. La *curva continua* de la Fig. 4 representa el comportamiento real del ..... a ..... °C. La línea de trazos es la que suponemos para un gas .....
* * * * *

nitrógeno; 20; ideal.

24. Panel 13, Fig. 4. El nitrógeno a 20°C se comporta como gas ideal un poco (arriba/abajo) de 50 atm. Se *desvía* ligeramente de este comportamiento (arriba/abajo) de 50 atm y radicalmente (arriba/abajo) de 200 atm.
* * * * *

abajo; arriba; arriba.

25. Panel 13, Fig. 6. El nitrógeno, a −70°C ..... del comportamiento del gas ideal (más/menos/en el mismo grado exactamente) que el del nitrógeno a 40°C.
* * * * *

Se aleja; más (por ejemplo, su desviación comienza a menor temperatura).

26. Panel 13. Las diferencias entre las gráficas de las Figs. 4 y 6 indican que la magnitud de la desviación depende tanto de la .... como de la presión del gas real bajo consideración.
* * * * *

temperatura.

27. Panel 13. Compare las Figs. 4 y 5. La Fig. 5 es una gráfica aproximada del comportamiento del ..... a ..... °C. La comparación indica que a (la misma temperatura/diferentes temperaturas) diferentes gases reales se desvían en (la misma forma/diferentes formas).
* * * * *

anhídrido carbónico; 20; la misma temperatura; diferentes formas.

28. Las figuras 4 y 6 indican que a medida que se enfría un gas real determinado, es (más/menos) probable que diverja del comportamiento pronosticado por la teoría cinética. A bajas ..... y altas ... . es más probable que un gas real se comporte como ideal.
* * * * *

más; presiones; temperaturas.

29. El comportamiento de un gas real a baja (presión/temperatura) y a alta (presión/temperatura) es probable que esté en conformidad con las hipótesis enunciadas en el panel 12.
* * * * *

presión; temperatura.

30. Esto significa que algunas de las hipótesis de la cinética, si no todas, tienen una aplicación *limitada.* Ciertas hipótesis de la teoría son tales,

que se aplican únicamente a gases reales que están a ..... presiones y ..... temperaturas.

* * * * *

bajas; altas.

31. Panel 13. Las Figs. 2, 4, 5 y 6 sugieren que en un gas real que está por encima de cierta presión (dependiendo del gas), el producto pV es/no es) una constante. Esto significa que ciertas hipótesis del panel 12 deben tener aplicación (limitada/ilimitada).

* * * * *

no es; limitada.

32. Es lógico suponer que las hipótesis que deben ser limitadas en los gases reales tengan algo que ver con el volumen o la presión del gas. ¿Cuál de las hipótesis del panel 12 se refiere al volumen de un gas y al espacio que ocupan sus moléculas? Dé como respuesta uno o más números romanos.

* * * * *

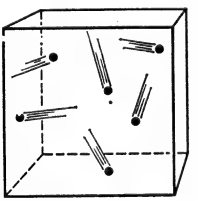
II.

33. A medida que se comprime un gas, el volumen que ocupa (aumenta/disminuye/permanece igual); el volumen que ocupa cada una de sus moléculas (aumenta/disminuye/permanece igual) La compresión de un gas (afecta/no afecta) el tamaño de sus moléculas.

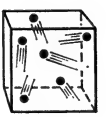
* * * * *

disminuye; permanece igual; no afecta.

34.



(a)



(b)

El gas de (*a*) ha sido comprimido en (*b*). El volumen que ocupan las moléculas en (*b*), *respecto al tamaño del recipiente,* es (mayor/menor) que con respecto al tamaño del recipiente en (*a*).

* * * * *

mayor.

35. A medida que se comprime un gas, el volumen que ocupa cada una de sus moléculas, no obstante ser constante en volumen absoluto, (aumenta/disminuye) *respecto al volumen del recipiente.*

* * * * *

aumenta.

36. Conforme a la hipótesis II del panel 12, el volumen de cada molécula es ..... comparado con el del recipiente. Esta hipótesis es (más/menos/igualmente) válida cuando se comprime un gas hasta un volumen muy pequeño.

* * * * *

despreciable; menos.

37. Panel 12. La hipótesis II sugiere que el volumen del recipiente del gas y el espacio disponible dentro de él para que las moléculas del gas se muevan libremente (son/no son) los mismos.

* * * * *

son.

38. Sin embargo, en un gas *altamente comprimido,* si V es el volumen del recipiente y b el volumen que ocupan las moléculas del gas, el espacio de que dispone una molécula para moverse libremente en el recipiente es (V; $V - b$; b).

* * * * *

$V - b$.

39. En un gas real a presión baja o moderada, $pV = k$. En un gas altamente comprimido debemos reemplazar V por ....., donde b representa el volumen que ocupan ..... (*complete*).

* * * * *

$V - b$; las moléculas en sí.

40. Hemos corregido el factor de volumen para un gas a alta presión. Para gases a presión baja o moderada, ... $= k$. Para gases a alta presión, esto se convierte en ..... $= k$.

* * * * *

pV; $p(V - b)$.

41. $p(V - b)$ = una constante, donde m y T son constantes. Empleamos esta forma corregida de la ley de ..... en gases a (alta/baja)

presión porque bajo esta condición el volumen que ocupan las moléculas (es/no es) despreciable comparado con el del recipiente.
* * * * *

Boyle; alta; no es.

42. En gases reales a alta presión la ley de Boyle se convierte en .... (*dé una ecuación*).
* * * * *

$p(V - b) =$ una constante, o bien $p(V - b) = k$.

43. Otro factor más que puede explicar las divergencias entre la conducta de un gas real y uno ideal es la presión (o sea la fuerza que se aplica a las paredes del recipiente, que está relacionada con la presión). ¿Qué hipótesis del panel 12 se refiere específicamente a las fuerzas entre las moléculas?
* * * * *

V (la VI implica la existencia de fuerzas durante la colisión).

44. La hipótesis V asegura que no hay fuerzas desbalanceadas que actúen entre las moléculas excepto durante colisiones. Sin embargo, el experimento indica que hay fuerzas entre las moléculas aunque estén separadas unas de otras (las llamaremos fuerzas *intermoleculares*). Puesto que esto es así, la hipótesis V únicamente es válida cuando las fuerzas intermoleculares *sobre una molécula* se anulan o cuando (son/no son) despreciables.
* * * * *

son.

45. Panel 11, Fig. 5. Las flechas indican fuerzas *intermoleculares* en las moléculas x y y. x está completamente rodeada por otras moléculas cuyas fuerzas de atracción se (acumulan/anulan). La fuerza intermolecular total que actúa sobre x es .....
* * * * *

anulan; cero.

46. Panel 11, Fig. 5. La fuerza ..... total sobre y, que está cerca de la pared del recipiente y (está/no está) completamente rodeada por otras moléculas del gas, es (igual a/diferente de) cero.
* * * * *

intermolecular; no está; diferente de.

47. La presión que ejerce un gas sobre las paredes del recipiente que lo contiene es producto del bombardeo de las moléculas del gas sobre

dichas paredes y se mide por el cambio que ocurre en la cantidad de movimiento de una molécula durante su interacción con la pared. Sin embargo, cuando una molécula (como por ejemplo, la molécula *y* de la Fig. 5, panel 11) está próxima a chocar con la pared, está afectada por una fuerza intermolecular total mayor que cero, que proviene de otras moléculas del gas. Esto significa que choca con la pared con (más/menos) cantidad de movimiento que la que pronostica la teoría cinética.

* * * * *

menos.

48. Debido a la fuerza ..... desbalanceada que actúa sobre una molécula cuando llega a la pared del recipiente, la presión que ejerce el gas en la pared es algo (mayor/menor) que la que pronostica nuestra teoría.

* * * * *

intermolecular; menor.

49. Los experimentos han demostrado que las fuerzas intermoleculares varían *inversamente* con la séptima potencia de su distancia entre sus centros. Esto significa que al aumentar la distancia entre moléculas, las fuerzas intermoleculares (aumentan/disminuyen) rápidamente.

* * * * *

disminuyen.

50. En un gas a presión baja o moderada, las moléculas están más (juntas/separadas) de lo que están, si el gas está altamente comprimido. Esto significa que la fuerza intermolecular en las moléculas de un gas a baja presión es (más/menos) probable que sea despreciable y que la hipótesis V (se aplique/no se aplique).

* * * * *

separadas; más; se aplique.

51. La teoría cinética bosquejada en el panel 12 (supone/no supone) que existen las fuerzas intermoleculares. La presión que pronostica esta teoría es capaz de ser algo (mayor/menor) que la que se observa en el experimento.

* * * * *

no supone; mayor.

52. A altas presiones, las fuerzas ..... tienden a (aumentar/disminuir) la presión sobre las paredes del recipiente.

* * * * *

intermoleculares; disminuir.

53. Recuerde (repase las Figs. 4 y 6 del panel 13) que un gas real a baja temperatura también tiende a desviarse de la ley de Boyle para los gases ideales; esto se debe a que a bajas temperaturas las moléculas de un gas se mueven más (rápidamente/lentamente) que a altas temperaturas. El efecto de las fuerzas intermoleculares es (mayor/menor) en una molécula que se mueve lentamente que en una que lo haga rápidamente y esto significa que el efecto de las fuerzas intermoleculares es mayor a (alta/baja) temperatura.

* * * * *

lentamente; mayor; baja.

54. El físico holandés Van der Waals realizó muchos experimentos con diferentes gases a altas presiones y bajas temperaturas; como resultado, desarrolló una forma de la ley de Boyle aplicable a los gases reales: $\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = k$, una constante. Esta ecuación (resulta/no resulta) de las hipótesis enlistadas en el panel 12.

* * * * *

no resulta.

55. $\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) =$ (una constante). Esta es la ecuación de estado de Van der Waals para un gas ..... con temperatura y masa constantes; b es una corrección hecha para explicar el hecho de que las ..... realmente ocupan parte del ..... del recipiente. a/V^2 es una corrección hecha para explicar el efecto de las fuerzas ..... a altas ..... y bajas .....

* * * * *

real; moléculas; volumen; intermoleculares; presiones; temperaturas.

56. Panel 13. Las figuras 4, 5 y 6 sugieren que los valores de a y b en la ecuación de estado de Van der Waals (dependen/no dependen) del gas bajo consideración. Esto significa que los valores de a y b [(1) se pueden pronosticar con las hipótesis del panel 12/(2) se deben determinar experimentalmente].

* * * * *

dependen; (2).

57. En la ecuación de Van der Waals, a medida que V se hace muy grande comparado con a y b, $(V - b)$ se aproxima a V en valor,

a/V^2 se aproxima a ..... (número) y la ecuación de Van der Waals se aproxima a la ley de .....

* * * * *

cero; Boyle.

58. A presiones bajas o moderadas V (es/no es) muy grande comparado con a y b. A presiones bajas o moderadas, $(p + a/V^2)(V - b) =$ (una constante) se convierte en ..... = ...

* * * * *

es; $pV =$ (una constante).

59. La teoría cinética (tal como se bosquejó en el panel 12) (es/no es) adecuada para explicar el comportamiento de los gases reales a altas presiones y bajas temperaturas. (Es/no es) adecuada para explicar el comportamiento de los gases reales a bajas presiones y altas temperaturas.

* * * * *

no es; Es.

60. Vimos anteriormente que cuando un gas se expandió contra un obstáculo como el pistón de las Figs. 3 y 4 del panel 11, su temperatura (aumentó/disminuyó). Explicamos esta disminución basados en el hecho de que al expandirse, el gas realizó un ..... a expensas de la ....

* * * * *

disminuyó; trabajo; energía cinética.

61. Suponga que a un gas se le permite expandirse dentro de un vacío en donde no hay obstáculos (como el pistón) para que se mueva. Basándonos en la teoría cinética, la temperatura del gas debe (aumentar/disminuir/permanecer constante).

* * * * *

permanecer constante (no se requiere trabajo para expandirse).

62. Sin embargo, en experimentos en que se permite a un gas real expandirse en un vacío, se registra una disminución de la temperatura del gas en expansión. Esto se conoce como efecto Joule-Thomson e indica que un gas real (trabaja/no trabajo) al expandirse sin obstáculos externos.

* * * * *

trabaja.

63. El trabajo que realiza el gas en el efecto Joule-Thomson debe ser contra fuerzas (externas/internas). Cuando se expande un gas real, sus moléculas se separan; esto significa que las moléculas de un gas real en expansión tienen que realizar un trabajo para vencer las fuerzas ..... moleculares.

* * * * *

internas; inter(moleculares).

64. La teoría cinética bosquejada en el panel 12 (explica/no explica) el enfriamiento de un gas que se expande contra fuerzas externas. La teoría cinética (explica/no explica) el infriamiento de un gas que se expande dentro de un vacío.

* * * * *

explica; no explica.

65. Para explicar el enfriamiento de un gas real al expandirse en el vacío tenemos que reconocer la existencia de fuerzas .... El trabajo que se realiza en contra de estas fuerzas está acompañado de una (pérdida/ganancia) en la energía cinética media de translación de las moléculas.

* * * * *

intermoleculares; pérdida.

66. A TPN, los gases son mucho (más/menos) densos que los líquidos; esto quiere decir que las moléculas de los (gases/líquidos) están más juntas y que el efecto de las fuerzas intermoleculares es (mayor/menor) en los líquidos que en los gases.

* * * * *

menos; líquidos; mayor.

67. A medida que calentamos un líquido, la .... de sus moléculas aumenta. A cierta temperatura, las moléculas tienen suficiente .... para vencer las .... que las mantienen juntas. A esta temperatura el líquido comienza a convertirse en .....

* * * * *

energía cinética; energía cinética; fuerzas intermoleculares; gas

Sección 10. Repaso y problemas.

1. El conjunto de hipótesis que explican el comportamiento que se observa en los gases se llama ....

* * * * *

teoría cinética.

2. Definimos la presión como ..... entre unidad de ..... y la densidad como ..... entre unidad de .....

* * * * *

fuerza; área; masa; volumen.

3. Calcule la presión a 10 m bajo la superficie de un líquido cuya densidad es de 1.5×10^3 N/m^3.

* * * * *

$p = \rho gh = (1.5 \times 10^3\ (9.8)\ (10) = 1.47 \times 10^5$ N/m^2.

4. 1) Convierta una presión de 2 atm a cm de mercurio.

2) Convierta en atm una presión de 38 cm de mercurio.

3) Convierta 5 atm a N/m^2.

* * * * *

152 cm de mercurio; 0.5 atm; 5.05×10^5 N/m^2.

5. La gravedad específica de cierta substancia es de 4.5; calcule su densidad en kg/m^3.

* * * * *

4.5×10^3 kg/m^3.

6. El barómetro es un dispositivo que mide presión .....

* * * * *

atmosférica.

7. La altura de la columna de mercurio del barómetro (aumenta/disminuye/permanece igual) a medida que disminuye la presión atmosférica.

* * * * *

disminuye.

8. En ausencia de influencias externas, el paso de un gas a través de otro se llama .....

* * * * *

difusión.

9. Tres propiedades notables de todos los gases lo son;

1) .....
2) .....
3) .....

* * * * *

comprensibilidad; difusión rápida; expansibilidad ilimitada.

10. Enuncie la ley de Boyle.

* * * * *

La presión y el volumen de un gas que está confinado son inversamente proporcionales, si la temperatura permanece constante.

11. ¿Bajo qué condiciones de temperatura y presión el comportamiento de los gases reales diverge del de los ideales?

* * * * *

baja temperatura; alta presión.

12. 1) Convierta 100°C en °K.
2) Convierta 297°K en °C.

* * * * *

373°K; 24°C.

13. El coeficiente de expansión lineal de cierta substancia es de 2×10^{-6}/°C.
1) Calcule su coeficiente de expansión superficial.
2) Calcule su coeficiente de expansión volumétrica.
3) Una muestra de esta substancia, de 10.000 m de largo a 0°C mide ..... metros de largo a 300°C.

* * * * *

1) 4×10^{-6}/C°
2) 6×10^{-6}/C°
3) $\Delta l = \alpha l_1 \Delta t$
$= (2 \times 10^{-6})\ (300)\ (10)$
$= 0.006$
$l^2 = 10.006$ metros.

14. El volumen de un gas que está confinado a 10 atm de presión y a una temperatura de 250°K es de 300 cm^3. Calcule su volumen cuando su temperatura es de 250°K y la presión de 0.1 atm.

* * * * *

$p_1V_1 = p_2V_2.$

$(10)\,(300) = (0.1)\,(V_2).$

$V_2 = 30{,}000\ cm^3.$

15. Escriba la ecuación de estado para un gas ideal, en función de N, V, T, k y p.

* * * * *

$pV = NkT.$

16. Calcule el volumen de un gas ideal que consta de 12×10^{23} moléculas a una temperatura de 300°K y una presión de 2×10^5 N/m^2. Use $k = 1.38 \times 10^{-23}$ joules/K°.

* * * * *

$pV = NkT.$

$$V = NkT/p = \frac{(12 \times 10^{23})\ (1.38 \times 10^{-23})\ (300)}{2 \times 10^5} = 0.025\ m^3.$$

17. El peso molecular del helio es 4; el peso molecular del hidrógeno es 2. A una temperatura determinada la velocidad de difusión del helio es de 100 cm/min. Calcule la velocidad de difusión del hidrógeno a la misma temperatura.

* * * * *

La velocidad de difusión es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del peso molecular.

$$\frac{r_{He}}{r_H} = \frac{\sqrt{M_H}}{\sqrt{M_{He}}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{4}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$r_H = 100\ \sqrt{2} = 141.4$ cm/seg.

18. La teoría cinética relaciona las velocidades medias de las moléculas con la temperatura Kelvin, suponiendo que la energía ..... media de ..... de la molécula de un gas es (directamente/inversamente) proporcional a su temperatura Kelvin.

* * * * *

cinética; translación; directamente.

19. Use la teoría cinética para explicar por qué aumenta la temperatura de un gas al comprimirlo.

* * * * *

Porque se realiza un trabajo sobre el gas y esto aumenta la energía cinética media de translación de sus moléculas.

20. Enuncie la ley de Avogrado.

* * * * *

Volúmenes iguales de diferentes gases mantenidos a la misma temperatura y presión contienen el mismo número de moléculas.

21. ¿Cuáles son la temperatura y presión normales?

* * * * *

273°K ó 0°C y 1 atm de presión.

22. La gráfica presión-volumen de un gas que está confinado y que se mantiene a temperatura constante se llama .....

* * * * *

isoterma pV.

23. Enuncie la ley de Charles.

* * * * *

A presión constante, el volumen y la temperatura Kelvin de un gas que está confinado son directamente proporcionales.

24. De los siguientes enunciados, ¿cuáles son verdaderos?
1) A muy bajas temperaturas, todos los gases actúan como gases ideales.
2) El volumen de un gas a 0°K es cero.
3) Conforme a la ley de la difusión de Graham, la *vcm* de una molécula es directamente proporcional a su masa.
4) Cuando un gas real se expande en el vacío, no hay cambio en su temperatura.
5) Los gases reales dejan de comportarse como ideales a muy bajas temperaturas debido a la existencia de fuerzas intermoleculares no supuestas en la teoría cinética.
6) Las isotermas pV de los gases que están confinados son curvas llamadas hipérbolas.

* * * * *

5) y 6).

25. ¿Cuáles de los siguientes enunciados son verdaderos?:

1) Unicamente los gases manifiestan difusión.

2) El calor que absorbe un gas y se convierte en energía cinética de rotación de sus moléculas no se refleja en aumento de temperatura en el gas.

3) Un enunciado de una ley es: "La trayectoria de un planeta alrededor del Sol es una elipse, en uno de cuyos focos está el Sol".

4) La gravedad específica del agua es 1.

5) Al pie de una montaña la altura del mercurio del barómetro es menor que en la cima de la montaña.

* * * * *

2), 3) y 4).

26. Una muestra de gas a 1 atm de presión tiene una temperatura de 27°C y ocupa un volumen de 500 cm^3. Calcule su presión en atm al calentarlo a 227°C y comprimido hasta un volumen de 100 cm^3.

* * * * *

$$pV/T = k.$$

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{(1)\,(500)}{27° + 273} = \frac{500}{300} = k.$$

$$\frac{p_2V_2}{T_2} = k = \tfrac{5}{3}$$

$$\frac{100p_2}{227 + 273} = \frac{100p_2}{500} = \frac{5}{3}$$

$$p_2 = \frac{(5)(500)}{(3)(100)} = \frac{25}{3} = \mathbf{8.33\ atm}$$

27. ¿Cuántas moléculas de gas hay en un recipiente de 0.001 m^3 que se mantiene a una presión de 2.02×10^5 N/m^2 y a una temperatura de −73°C? (Use $k = 1.38 \times 10^{-23}$ joules/K°).

* * * * *

$$pV = NkT.$$

$$T = 273 + (-73) = 200°\text{K}.$$

$$N = \frac{pV}{kt} = \frac{(2.02 \times 10^5)\ (0.001)}{(1.38 \times 10^{-23})\ (200)} = 7.3 \times 10^{22}.$$

28. A temperatura y presión *normales* la densidad del helio es de 0.178 kg/m³. Calcule la *vcm* de las moléculas del helio bajo estas condiciones.

* * * * *

$vcm = \sqrt{3p/\rho}.$

$p = 1.01 \times 10^5$ N/m².

$\rho = 0.178$ kg/m³.

$$vcm = \sqrt{\frac{3\ (1.01 \times 10^5)}{0.178}} = 1.7 \times 10^3 \text{ m/seg.}$$

PROBLEMAS

1. La gravedad específica del mercurio es 13.6; calcule la densidad del mercurio en kg/m³. Calcule el volumen de 272 kg de mercurio y la masa de 272 cm³ de mercurio.
2. La densidad de masa del mercurio es de 13.6 g/cm³. Calcule su densidad de peso. Calcule la presión en un punto a 10 cm bajo la superficie de un depósito de mercurio.
3. Un alambre de cobre mide 100 cm a 0°C. Calcule la longitud del alambre cuando su temperatura es de 120°C.
4. A 0°C el volumen de un bloque de cobre es de 100 cm³. Calcule su volumen cuando su temperatura es de 150°C.
5. Defina la difusión de los gases y dé ejemplos de ella.
6. Distinga claramente entre ley y teoría. De un ejemplo de cada una.
7. Enuncie la ley de Boyle. Escríbala como ecuación de estado.
8. Cuando la presión en un gas que está confinado es de 5 atm, su volumen es de 10 m³. Calcule el volumen cuando la presión (*a*) se reduce a 1 atm y (*b*) se aumenta a 12 atm. Suponga una temperatura constante.
9. El volumen de un gas que está confinado y a 1 atm de presión y 300°K es de 100 cm³. Calcule su volumen a 5 atm de presión y 200°K.
10. Convierta 38 cm de mercurio de presión en N/m². Convierta 152 cm de mercurio de presión en atmósferas. Convierta 5 atm en cm de mercurio. Convierta 5.05×10^5 N/m² en atm.
11. Convierta 25°C en °K; convierta 205°C en °K; convierta 300°K en °C; convierta 1000°K en °C.
12. Enuncie las leyes de Boyle y de Charles.
13. Los químicos usan una unidad de masa llamada *mol*. Un mol de una substancia es la masa de esa substancia que contiene un número de moléculas igual al número de Avogadro. Calcule el volumen que

ocupan 3 moles de un gas que se mantiene a una temperatura de 300°K y a una presión de 2.02×10^5 N/m². Use la constante de Boltzmann $k = 1.38 \times 10^{-23}$ joules/°K.

14. Distinga entre las energías cinéticas de rotación y de translación. ¿Cuál de ellas se relaciona con la temperatura Kelvin?

15. Los pesos moleculares de dos gases están en proporción de 4 a 1. Si están a la misma temperatura dos muestras de estos gases, ¿cuánto más rápidamente se difunde el gas más ligero que el más pesado? Si el gas más ligero se difunde a 100 cm por minuto, ¿a qué distancia se difunde el gas más pesado en el mismo tiempo?

16. Use las hipótesis de la teoría cinética para explicar por qué disminuye la temperatura de un gas al dilatarse y aumenta al comprimirlo.

17. Enuncie la ley de Avogrado y explique cómo se deduce de la teoría cinética.

18. Explique las condiciones bajo las que un gas real es probable que diverja de la ley de los gases ideales. ¿En qué formas se debe alterar la teoría cinética para explicar estas divergencias? Explique cómo explica estas divergencias la ecuación de estado de Van der Waals.

19. La densidad del gas de cloro a TPN es de 3.16 kg/m³. Calcule la *vcm* de sus moléculas bajo estas condiciones.

20. ¿Cuál es la ecuación de estado de Van der Waals para un gas real? Explique el significado de las constantes *a* y *b*.

CAPITULO 2

CALOR Y TERMODINAMICA

OBJETIVOS:

Al terminar este capítulo el estudiante debe ser capaz de:

1. Distinguir entre trabajo, calor y temperatura.
2. Aplicar la primera ley de la termodinámica en la solución de problemas que impliquen procesos isobáricos, isocrónicos, adiabáticos e isotérmicos.
3. Definir la caloría; convertir cantidades en calorías a su equivalente en joules y viceversa.
4. Resolver problemas que impliquen la temperatura de equilibrio térmico de mezclas, usando calores específicos y puntos de fusión y evaporación.
5. Describir la conducción, la convección y la radiación como métodos de transferencia de calor.
6. Emplear las ecuaciones $\frac{Q}{t} = \frac{kA\,(T_2 - T_1)}{d}$ y $\frac{Q}{t} = e\sigma AT^4$ para resolver *cuantitativamente* problemas que impliquen la conducción y la radiación.
7. Describir la máquina térmica de Carnot, el ciclo de Carnot y calcular la eficiencia de una máquina térmica.
8. Enunciar la segunda ley de la termodinámica en diversas formas, incluyendo la que utiliza el concepto de entropía.
9. Enunciar la tercera ley de termodinámica.
10. Definir la entropía y calcular los cambios de ésta en sistemas simples.

Sección 1. Temperatura, calor y trabajo. La primera ley de la termodinámica.

1. Conforme a la teoría cinética, un aumento en la temperatura de un objeto significa (un aumento/una disminución/que no hay cambios) en la energía cinética media de translación de sus moléculas.

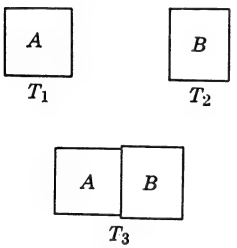
* * * * *

un aumento.

2. La temperatura es una medida del "calor o del "frío" de un objeto con relación a otros objetos. Cuando se pone en contacto un objeto caliente con uno frío durante un tiempo suficiente, la temperatura del objeto caliente (aumenta/disminuye/permanece constante) y la del objeto frío (aumenta/disminuye/permanece constante).
* * * * *

disminuye; aumenta.

3. Dos objetos, *A* y *B*, están inicialmente separados y con temperaturas T_1 y T_2 respectivamente, siendo T_2 mayor que T_1. Cuando *A* y *B* se ponen en contacto, la energía cinética media de translación de las moléculas de *A* (aumenta/disminuye) y la energía cinética media de translación de las moléculas de *B* (aumenta/disminuye) hasta



que ambos objetos están a la misma temperatura T_3. T_3 siempre es [(1) mayor que T_1 y T_2, (2) menor que T_1 y T_2, (3) mayor que T_1 y menor que T_2)].
* * * * *

aumenta; disminuye; (3).

4. Refirámonos al caso descrito en el cuadro anterior. La naturaleza del cambio de temperatura de *A* y *B* al ponerlos en contacto sugiere que hay una *transferencia* de *energía* de uno al otro, en cuyo caso la energía "fluye" de (*A*/*B*) a (*A*/*B*) y esta transferencia tiene lugar mientras *A* y *B* están a (la misma temperatura/diferentes temperaturas).
* * * * *

B; *A*; diferentes temperaturas.

5. Generalizando, cuando se ponen en contacto dos objetos que están a temperaturas diferentes, hay un "flujo" o transferencia de ..... del objeto que está a (mayor/menor) temperatura hacia el objeto que está a (mayor/menor) temperatura y la transferencia continúa hasta que ambos objetos ..... (*complete*).
* * * * *

energía; mayor; menor; tienen la misma temperatura.

6. La energía transferida en esta forma se llama *calor.* Una de las características del calor es que fluye de un objeto a otro únicamente cuando ..... (*complete*).

* * * * *

los objetos están a temperaturas diferentes

7. Por lo tanto, el calor y la temperatura describen dos cosas muy diferentes. La temperatura es una propiedad de un sistema (por ejemplo, de un cuerpo o un grupo de objetos aislados de otros en alguna forma): es una medida de ..... (*complete*). El calor es la ..... que un sistema transfiere a otro debido a la ..... entre los sistemas.

* * * * *

la energía cinética media de translación de sus moléculas; energía; diferencia de temperaturas.

8. El calor no es el único tipo de transferencia de energía. Cuando levantamos del piso un objeto y lo colocamos sobre una mesa, realizamos sobre él un ..... y por lo tanto aumentamos su energía ..... con respecto al piso.

* * * * *

trabajo; potencial.

9. Cuando usted estira un resorte, realiza un trabajo que produce un aumento en la .... elástica del resorte. Cuando se deja caer libremente una masa, se produce un aumento de su energía ..... debido al ..... que realiza sobre ella el campo gravitacional.

* * * * *

energía potencial; cinética; trabajo.

10. El trabajo también es una cantidad física que describe una transferencia de ..... Calculamos el trabajo realizado en función de la fuerza total empleada y del desplazamiento que produce esta fuerza. El cálculo del trabajo (implica/no implica) cualesquiera diferencias de temperatura que existan entre los cuerpos a los que se aplica.

* * * * *

energía; no implica.

11. ¿Cuál de los siguientes enunciados es el verdadero?

1) Unicamente el calor implica una transferencia de energía.

2) Unicamente el trabajo implica una transferencia de energía.

3) Ni el calor ni el trabajo implican una transferencia de energía.

4) Tanto el calor como el trabajo implican una transferencia de energía.

* * * * *

(4).

12. Siempre que haya transferencia de energía en forma de calor de un sistema a otro, será debida a una .... entre los sistemas.

* * * * *

diferencia de temperaturas.

13. El trabajo es una transferencia de energía de un sistema a otro, de tal género, que (queda/no queda) directamente implicada una diferencia de temperaturas entre ambos.

* * * * *

no queda.

14. La *energía interna*[1] de un sistema es *toda* la energía que podemos atribuir a todas las partes del sistema. Suponga que el sistema bajo consideración sea un gas confinado en un cilindro mediante un pistón perfectamente ajustado. La energía interna del gas (incluye/no incluye) la energía cinética de rotación de sus moléculas. Se entiende que las moléculas de un sólido vibran unas respecto a otras en forma análoga a la vibración de una masa en un resorte. Tales moléculas tienen cierta cantidad de energía potencial elástica (incluida/no incluida) en la energía interna del sólido.

* * * * *

incluye; incluida.

15. El cálculo de la energía interna de un sistema físico, un objeto, etc., es rara vez una posibilidad práctica o importante para el científico; éste tiene mayor interés en calcular el *cambio* que ocurre en la

---

[1] N.C. La *energía interna* de un sistema en equilibrio depende sólo de su estado termodinámico y quedará determinada por dos de las variables termodinámicas: p, V, T.

energía interna de un sistema como resultado de las interacciones que implican las transferencias de energía que llamamos ..... y ..... Estos usualmente producen ..... en la energía interna del sistema y son los que tienen interés práctico.

* * * * *

calor; trabajo; cambios.

16. Representamos con la letra U la energía interna de un sistema físico. Por regla general (podemos/no podemos) asociar un valor numérico a U.

* * * * *

no podemos.

17. El símbolo U representa la .... de un sistema. Por lo tanto, el símbolo ΔU representará un ..... en dicha energía.

* * * * *

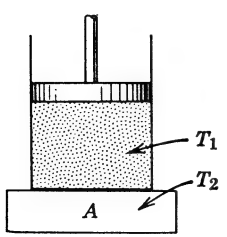
energía interna; cambio.

18. Supongamos que un gas encerrado en un cilindro mediante un pistón móvil tiene la misma temperatura de su medio ambiente. Cuando el gas se expande contra el pistón, hay una transferencia de energía (hacia el/fuera del) gas en forma de (trabajo/calor) y la energía interna del gas (aumenta/disminuye). No obstante que quizá no podamos calcular la energía interna del gas antes y después de expandirse, en cambio, si podemos calcular la energía transferida al pistón podremos calcular el ..... en su energía interna.

* * * * *

fuera del; trabajo; disminuye; cambio.

19. El gas en el cilindro de la figura tiene una temperatura T_1. El objeto A se pone en contacto con el cilindro. La temperatura de A es T_2 y menor que T_1.



Hay una transferencia de energía (hacia el/fuera del) gas. Esta transferencia ocurre en forma de (trabajo/calor).

* * * * *

fuera del; calor.

20. Refirámonos a la situación descrita en el cuadro anterior. Podemos calcular el cambio en la energía interna del gas si conocemos el calor que fluyó en él. Para hacer este cálculo (es/no es) necesario conocer la energía interna antes o después de la interacción.

* * * * *

no es.

21. Numerosos procesos naturales implican tanto al flujo de calor hacia o fuera de un sistema en la forma del trabajo realizado por él o sobre el sistema. Tales procesos son el tema de estudio de la *termodinámica.* La termodinámica implica el cálculo de los cambios en las .... de los sistemas como resultado de las transferencias de energía conocidas como ..... y .....

* * * * *

energías internas; calor; trabajo.

22. En este libro representaremos con Q al *calor que fluye hacia* un sistema desde el exterior (que se conoce como medio ambiente del sistema o sus alrededores). Llamaremos W al *trabajo que realiza el sistema* sobre su medio ambiente en cualquier interacción. La energía interna del sistema aumenta en la cantidad (Q/W) y disminuye en la cantidad (Q/W). El cambio total ΔU en la energía interna está dado por la ecuación $\Delta U =$ ..... (en función de Q y W).

* * * * *

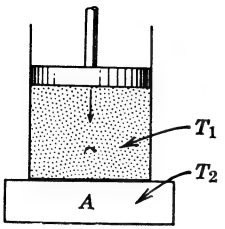
Q; W; $Q - W$.

23. $\Delta U = Q - W$. En esta ecuación ΔU representa el ..... en la .... de un sistema. Q representa el calor que fluye (hacia el /fuera del) sistema. W representa el trabajo realizado (por/en) el sistema sobre sus alrededores.

* * * * *

cambio; energía interna; hacia el; por.

24. En la figura se está comprimiendo al gas y su temperatura (T_1) es mayor que la del soporte A (T_2). El trabajo (lo realiza/se realiza sobre) el gas y el calor fluye hacia (dentro/fuera) del gas. En este caso



En la figura se supone que las paredes del cilindro y el pistón son de tal naturaleza que no permiten el flujo de calor (adiabáticas) en ningún sentido, *excepto en la base del cilindro que está en contacto con A.*

Q en la ecuación $\Delta U = Q - W$ es (positiva/negativo) y W es (positiva/negativo)

* * * * *

se realiza sobre; fuera; negativo; negativo.

25. $\Delta U = Q - W$ es la expresión matemática de la *primera ley de la termodinámica*[1] la cual nos permite calcular (la energía/el cambio en la energía) interna de un sistema después de una interacción que implique transferencias de ..... y de ..... hacia dentro o fuera del sistema.

* * * * *

el cambio en la energía; *en cualquier orden:* calor, trabajo.

26. Supongamos que el calor que fluye hacia un sistema es de 10 joules. La energía interna del sistema (aumentó/disminuyó) en ..... joules.

* * * * *

$\Delta U = 10 - 22 = -12$ joules; disminuyó; 12.

27. Un gas confinado en un cilindro provisto con una pistón se calienta con un mechero Bunsen, del que absorbe 25 joules. Una fuerza F realiza un trabajo de 10 joules para comprimir el gas. En este caso:

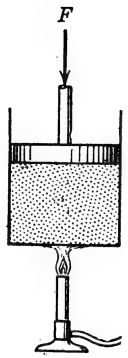
$W =$ ..... joules.

$Q =$ ..... joules.

$\Delta U =$ ..... joules.

---

[1] N. C. El cambio en la energía de un sistema (no aislado) durante cualquier proceso es igual a la energía transferida desde o hacia los alrededores. Si se observa, se verá que la primera ley de la termodinámica es el principio de la conservación de la energía.



* * * * *

—10 (el trabajo se realiza en el sistema); 25 (el calor fluye al sistema); $\Delta U = Q - W = 25 - (-10) = 35$ joules.

28. Cuando se comprime un gas mediante una fuerza aplicada a un pistón, su temperatura aumenta [1) porque se realiza un trabajo sobre él; 2) porque fluye calor hacia él]. (Es/no es) posible que cambie la temperatura de un sistema sin que fluya calor hacia el sistema o desde él.

* * * * *

(1); Es.

29. Ciertas interacciones ocurren en tal forma que *no* hay cambios de temperatura en el sistema; tales interacciones se llaman *isotérmicas*. La ley de Charles se aplica a sistemas (isotérmicos/no isotérmicos). La ley de Boyle se aplica a sistemas (isotérmicos/no isotérmicos).

* * * * *

no isotérmicos; isotérmicos.

30. $\Delta U = Q - W$. Ciertas interacciones ocurren en tal forma que el *calor* que entra a un sistema o escapa de él durante la interacción es despreciable. Estas interacciones se llaman *adiabáticas*. En una interacción adiabática ($\Delta U/Q/W$) vale cero.

* * * * *

Q.

31. Como regla general supondremos que la transferencia de calor es tan lenta que cuando se empuje *rápidamente* un pistón que encierra un gas en un cilindro, la transferencia de energía hacia afuera del

sistema en forma de calor será despreciable. Tal proceso es (isotérmico/adiabático). Para describir esta clase de proceso, la primera ley de termodinámica se puede expresar así: [(1) $\Delta U = Q$/(2) $\Delta U = -W$ /(3) $Q = W$].

* * * * *

adiabático; (2) (puesto que $Q = 0$).

32. Cuando un gas dentro de un cilindro se expande contra un pistón y no entra calor al sistema, la temperatura del gas (aumenta/disminuye); éste es un ejemplo de proceso (isotérmico/adiabático). Cuando un gas dentro de un cilindro se expande contra un pistón y se permite que entre calor suficiente para mantener constante la temperatura del gas, el proceso se llama (isotérmico/adiabático).

* * * * *

disminuye; adiabático; isotérmico.

33. Un proceso termodinámico durante el cual no hay cambios de temperatura en el sistema se llama ..... Un proceso en el que no fluye calor hacia el sistema o desde él se llama .....

* * * * *

isotérmico; adiabático.

34. Defina un proceso adiabático y uno isotérmico.

* * * * *

Un proceso en el que *no hay transferencia de calor* hacia el sistema o desde él.
Un proceso durante el cual la temperatura del sistema permanece constante.

35. *Repaso:* Calor y trabajo constituyen (el mismo método/métodos distintos) de transferir energía hacia un sistema o desde él.

* * * * *

métodos distintos.

36. *Repaso:* La característica distintiva del calor como forma de energía transferida de un sistema a otro es el hecho de que requiere .... (*complete*).

* * * * *

una diferencia de temperaturas entre los dos sistemas.

37. *Repaso:* A medida que entra calor en un sistema, o que se realiza trabajo sobre un sistema, la .... del sistema (aumenta/disminuye).

* * * * *

energía interna; aumenta.

38. *Repaso:* Una disminución de la energía interna de un sistema puede explicarla un flujo de calor hacia (dentro/fuera) del sistema y/o un trabajo realizado (por/sobre) el sistema.

* * * * *

fuera; por.

39. *Repaso:* En símbolos, la primera ley de termodinámica es: .... = ... En esta ecuación W representa .... (*complete*) y Q representa ..... (*complete*).

* * * * *

$\Delta U = Q - W$; el trabajo que *realiza el sistema*; el calor que fluye *hacia el sistema.*

40. *Repaso:* $\Delta U = Q - W$. Esta ecuación se convierte en $\Delta U = -W$ cuando el proceso que describe es .....

* * * * *

adiabático

Sección 2. Unidades de calor. Calores específicos. Cambios de fase.

Nota: La primera ley de la termodinámica relaciona un cambio en la energía interna de un sistema con el flujo de *calor* hacia el sistema y con el *trabajo* que realiza el sistema, en tal forma que para emplear correctamente la ecuación "$\Delta U = Q - W$" es necesario que la energía, el calor y el trabajo se midan en las mismas unidades.

En nuestro estudio de la mecánica, la electricidad y el magnetismo usamos *joules* (o *ergs*) para medir el trabajo y la energía. En lo pasado, sin embargo, la primera teoría ideada para explicar los fenómenos termodinámicos suponía que el calor era, de hecho, la transferencia de un fluido material, al que se llamaba *calórico,* de un cuerpo a otro con menor temperatura. Desde años antes los científicos decidieron que el calor era una transferencia, no de materia, sino de energía e idearon una unidad llamada *caloría* para medir la transferencia del calórico. Actualmente la teoría del flujo material de calor está descartada, pero la caloría se conserva como unidad de transferencia de energía

en forma de calor, en particular, y energía en general (especialmente en química y en biología). En esta sección introduciremos la caloría como unidad de energía en forma de transferencia de calor; en la sección que sigue introduciremos un factor de conversión que nos permita cambiar la energía medida en calorías en su equivalente en joules y viceversa.

1. La experimentación indica que el calor que se requiere para cambiar la temperatura de un objeto es *directamente proporcional* a la *masa* del objeto. El calor necesario para cambiar la temperatura de 50 g de agua de 15 a 20°C es ..... veces el requerido para cambiar la temperatura de 10 g de agua de 15 a 20°C.

* * * * *

cinco.

2. La experimentación también indica que el calor necesario para cambiar la temperatura de una masa dada de determinada substancia es también directamente proporcional a la magnitud del cambio de temperatura producido. El calor que se requiere para cambiar, de 15 a 17°C, 50 g de agua, es ..... veces el necesario para cambiar 50 g de agua de 15 a 16°C.

* * * * *

dos.

3. El calor necesario para producir un determinado cambio de temperatura en un objeto varía también con la substancia de que se compone el objeto y con el estado (sólido, líquido o gaseoso) que guarda cuando se produce la transferencia de calor. Las cantidades de calor que se requieren para cambiar 1 g de agua y 1 g de alcohol de 15 a 16°C son (iguales/diferentes). Las cantidades de calor necesarias para cambiar 1 g de agua de 15 a 16°C y 1 g de hielo de —10 a —9°C son (iguales/diferentes).

* * * * *

diferentes; diferentes.

4. La unidad que mide el calor se define en función de una masa determinada, un cambio de temperatura y una substancia. Definimos la *caloría* (cal) como el calor que se requiere para cambiar la temperatura de 1 g de agua de 14.5 a 15.5°C. El calor requerido para cambiar la temperatura de 25 g de agua de 14.5 a 15.5°C es ..... (*número y unidades*).

* * * * *

25 cal

5. En esta definición se usan temperaturas de referencia (es decir, 14.5°C y 15.5°C) porque hay una variación *muy pequeña* en el calor que se requiere para un cambio de temperatura de un grado, dependiendo del intervalo que se escoja.
Estrictamente hablando, el calor que se requiere para calentar 1 g de agua de 50 a 51°C (es/no es) exactamente 1 cal.

* * * * *

no es.

6. *Para los problemas que se incluyen en este texto podemos despreciar esta variación.* Calcule el calor necesario para elevar la temperatura de 3 g de agua de 20 a 25°C.

* * * * *

1 cal para 1 g por cada 1C°; 3 cal para 3 g por cada 1C°; 15 cal para 3 g por cada 5C°.

7. La caloría se define en función de la transferencia de calor que se requiere para cambiar la temperatura de una masa de ..... (*cantidad*) de ..... (*substancia*) 1C°.

* * * * *

1 g; agua.

8. El calor que se requiere para cambiar la temperatura de 1 g de alcohol o de 1 g de mercurio en 1C° (es/no es) igual a 1 caloría, porque el calor necesario para cambiar la temperatura de una muestra de un substancia (depende/es independiente) de la substancia.

* * * * *

no es; depende.

9. El calor que se requiere para cambiar en 1C° la temperatura de 1 g de determinada substancia se llama *calor específico* de esa substancia. Para representar el valor específico de una substancia usamos la letra *c*. El valor de *c* (varía/no varía) con distintas substancias.

* * * * *

varía.

10. El calor necesario para elevar la temperatura de 1 g de aluminio en 1C° es de 0.212 cal. Este valor, 0.212 cal/gC°; representa el .... del aluminio

* * * * *

calor específico.

11. Se requieren cien calorías para elevar 1C° la temperatura de 1000 g de una substancia. El calor específico de esta substancia es de ..... (*número y unidades*).

* * * * *

1000 g requieren 100 cal en 1C°
1 g requiere 100/1000 o sea 0.1 cal por cada 1C°
$c = 0.1$ cal/gC°.

12. El calor (Q) que se requiere para cambiar en la cantidad ΔT la temperatura de una masa m de una substancia con un calor específico c está dado por la ecuación $Q = mc\ \Delta T$. Calcule el calor necesario para cambiar la temperatura de 1000 g de aluminio de 25 a 75°C. El calor específico del aluminio es de 0.212 cal/gC°.

* * * * *

$\Delta T = 75°C - 25°C = 50C°$.
$Q = (1000\ g)\ (0.212\ cal/gC°)\ (50\ C°)$.
$= 10{,}600$ cal.

13. Refirámonos al panel 14; es una tabla de .... de diversas substancias.

* * * * *

calores específicos

14. Panel 14. Esta tabla de calores específicos refleja el hecho de que el calor necesario para producir cambios de temperatura *iguales* en masas *iguales* de *distintas* substancias (es una constante/varía con la substancia). Examine los valores de calor específico del hielo, del agua y del vapor; estos valores reflejan el hecho de que se requiere(n) (la misma cantidad/diferentes cantidades) de calor para producir cambios de temperatura iguales en masas iguales de una misma substancia en sus diferentes estados (sólido, líquido y gaseoso). El calor específico del aluminio en estado *líquido* (no indicado aquí) (es/no es) el que se indica en la tabla para el aluminio en estado *sólido*.

* * * * *

varía con la substancia; diferentes cantidades; no es.

15. Panel 14. El calor necesario para elevar la temperatura de 100 g de mercurio de 20°C a 35°C es de ..... cal.

* * * * *

$Q = mc\ \Delta T$
$= (100\ g)\ (0.33\ cal/gC°)\ (15C°)$
$= \mathbf{49.5\ cal.}$

16. Cuando un cuerpo se pone en contacto con otro de menor temperatura, el calor fluye del cuerpo a (mayor/menor) temperatura al de (mayor/menor) temperatura hasta que ambos tienen la misma .....

* * * * *

mayor; menor; temperatura.

17. Refirámonos al caso descrito en el cuadro anterior. Cuando ambos cuerpos tienen la misma temperatura decimos que están en estado de *equilibrio termodinámico.* Mientras el calor está fluyendo de uno al otro, estos cuerpos (están/no están) en estado de equilibrio termodinámico.

* * * * *

no están.

18. El cuerpo *A* tiene inicialmente una temperatura de 40°C; el cuerpo *B* está inicialmente a una temperatura de 20°C; se ponen en contacto uno con el otro un tiempo suficiente para que ambos lleguen a tener una temperatura de 33°C. En este caso la temperatura de equilibrio ..... es de ..... °C.

* * * * *

termodinámico; 33.

19. Vea el panel 15. Lea el problema 1. Las condiciones de este problema son tales que (parte del calor fluye/no fluye calor) de la mezcla al ambiente y (todo el/parte del/ningún) calor que escapa del agua que está a 70°C fluye al agua que está a 20°C.

* * * * *

no fluye calor; todo el.

20. Panel 15, problema 1. Llamamos T a la temperatura de equilibrio térmico El valor de T (es mayor de 70°C/es menor de 20°C/está entre 20 y 70°C). En función de T, el *cambio* de temperatura del agua que está inicialmente a 70°C al alcanzar el equilibrio térmico es de .....; el cambio de temperatura del agua que está inicialmente a 20°C cuando alcanza el equilibrio térmico es de .....

* * * * *

está entre 20 y 70°C; $70° - T$; $T - 20°$.

21. Panel 15, problema 1. La energía que *pierde* el agua inicialmente a 70°C en la transferencia de calor es:

$Q_1 = (100\text{ g})(1\text{ cal/gC°})(70 - T)\text{C°}$.
La energía que *gana* el agua inicialmente a 20°C en la transferencia de calor es:
$Q_2 = (\quad\quad)(\quad\quad)(T - 20)\text{C°}$.
* * * * *
(300 g) (cal/gC°).

22. Panel 15, problema 1. El calor que fluye del agua inicialmente a 70°C (es/no es) el mismo que fluye hacia el agua inicialmente a 20°C
$Q_1 (=/\neq) Q_2$.
* * * * *
es; =.

23. Panel 15, problema 1.
$Q_1 = (100\text{ g})(1\text{ cal/gC°})(70 - T)\text{C°}$
$Q_2 = (300\text{ g})(1\text{ cal/gC°})(T - 20)\text{C°}$
$Q_1 = Q_2$.
Use esta información para encontrar la temperatura de equilibrio térmico.
* * * * *
$(300\text{ g})(1\text{ cal/gC°})(T - 20)\text{C°} = (100\text{ g})(1\text{ cal/gC°})(70 - T)\text{C°}$
$300T - 6000 = 7000 - 100T$
$400T = 13{,}000$
$T = \mathbf{32.5°C}$.

24. Panel 15. Lea el problema 2. En este caso el calor fluye del (agua/aluminio hacia el (agua/aluminio). Sea T la temperatura de equilibrio térmico.

Flujo saliente de calor = ...
Flujo entrante de calor = ... } En función de las masas, los calores específicos y los cambios de temperatura

* * * * *
aluminio; agua; (100 g) (0.212 cal/gC°) $(120 - T)\text{C°}$;
$(100\text{ g})(1\text{ cal/gC°})(T - 20)\text{C°}$.

25. Panel 15, problema 2. Calcule la temperatura de equilibrio térmico.
* * * * *
$(100)(0.212)(120 - T) = (1{,}000)(1)(T - 20)$
$21.2(120 - T) = 1000(T - 20)$
$2544 - 21.2T = 1000T - 20{,}000$
$= 22°\text{C}$.

26. Sobre una flama se calienta lentamente un trozo de hielo que está inicialmente a —10°C en un recipiente adecuado; se toman lecturas de la temperatura a intervalos cortos. Al principio la temperatura del hielo aumenta gradualmente, lo que indica que por lo menos parte de la energía que la flama transfiere al hielo se convierte en un aumento de la ..... de las moléculas del hielo. Sin embargo, cuando el hielo alcanza una temperatura de 0°C *el calentamiento continuo no produce ningún aumento de temperatura hasta que se funde todo el hielo.* Esto significa que en el proceso de fusión [(1) no fluye calor hacia el hielo; (2) la transferencia de calor se efectúa pero no se refleja en un cambio de temperatura].

* * * * *

energía cinética media (de translación); (2).

27. Cuando calentamos hielo hasta su punto de fusión, la energía que absorbe actúa para deshacer la rígida estructura de cristales que lo hace sólido; esta energía se llama *calor latente* (es decir, oculto) *de fusión* porque es un aumento de la energía interna del sólido que (detecta/no detecta) el termómetro.

* * * * *

no detecta.

28. Todos los sólidos semejantes al hielo que tienen una estructura cristalina definida (a los cuales a menudo se les llama sólidos cristalinos) se comportan en la misma forma en lo tocante al hecho de que sus temperaturas permanecen en su punto propio de ..... hasta que todo el sólido se vuelve ..... Cada uno de estos sólidos tiene su propio calor ..... de fusión.

* * * * *

fusión; líquido; latente.

29. El calor (latente) de fusión de un sólido cristalino es el calor necesario para cambiar 1 g de esa substancia, de sólido a líquido, en su punto de fusión. El panel 16 es una tabla de algunos calores de fusión. El calor necesario para fundir 10 g de hielo en su punto de fusión es de ..... cal.

* * * * *

El calor de fusión del hielo que indica el panel 16 es de 80 cal/g.

(10 g) (80 cal/g) = 800 cal.

30. Panel 16. Calcule el calor necesario en el punto de fusión para derretir 5 g de oro.

* * * * *

El calor de fusión del oro es de 15.8 cal/g.
(5 g) (15.8 cal/g) = 79 cal.

31. Cuando se pone agua a la temperatura ambiente (aproximadamente a 23°C) en un recipiente adecuado y se calienta continuamente en una pequeña flama, su temperatura se eleva gradualmente hasta 100°C; éste es el punto de ..... del agua a presión normal (1 atm). Si el recipiente se construye en tal forma que el vapor que se produce esté a *presión constante* (por ejemplo, con un pistón móvil), la temperatura permanece a 100°C hasta que toda el agua se convierte en vapor. El calor que se transfiere al agua a 100°C da por resultado un cambio de (temperatura/fase).

* * * * *

ebullición; fase.

32. La transferencia de calor al agua en su punto de ebullición se convierte en la energía interna necesaria para separar unas de otras las moléculas del estado ..... hasta que la substancia se transforma en ..... Este aumento de la energía interna (es/no es) latente debido a que (se/no se) detecta en el termómetro.

* * * * *

líquido; gas; es; no se.

33. El *calor* (latente) *de evaporación* de una substancia es el calor necesario para cambiar 1 g de esa substancia del estado líquido al gaseoso en el punto de ebullición de la substancia. El panel 17 es una tabla de calores de evaporación de líquidos representativos. El calor necesario para cambiar 10 g de amoniaco líquido en amoniaco gaseoso en su punto de ebullición es de ..... cal. Si una masa desconocida de hidrógeno líquido absorbe 54 cal en su punto de ebullición y todo el líquido se transforma en gas, calcule la masa del hidrógeno.

* * * * *

(10 g) (327 cal/g) = **3.270 calorías;**

$$\frac{54 \text{ cal}}{108 \text{ cal/g}} = \mathbf{0.5\ g.}$$

34. El calor necesario para convertir 1 g de un sólido cristalino en 1 g de líquido en el punto de fusión de la substancia es el calor latente

de ..... de esa substancia. El calor necesario para convertir 1 g de un líquido en 1 g de gas, en el punto de ebullición de la substancia, es el calor latente de ..... de esa substancia.

* * * * *

fusión; evaporación.

35. El calor latente de fusión de cierta substancia es de 25 cal/g; esto significa que se requieren ..... (*número*) cal para cambiar ..... (*masa*) de esta substancia, de su fase (sólida/líquida/gaseosa) en su punto de (fusión/ebullición) a su fase (sólida/líquida/gaseosa) a la misma temperatura. El calor latente de evaporación de cierta substancia es de 150 cal/g; esto quiere decir que se requieren ..... (*número*) cal para cambiar ..... (*masa*) de esta substancia, de su fase (sólida/líquida/gaseosa) en su punto de (fusión/ebullición) a su fase (sólida/líquida/gaseosa) a la misma temperatura.

* * * * *

25; 1 g; sólida; fusión; líquida; 150; 1 g; líquida; ebullición; gaseosa.

36. Refiérase al panel 15. Lea el problema 3. Abordemos este problema por pasos. Primero calculemos el calor (Q_1) necesario para cambiar 10 g de *hielo* a —20°C a 10 g de *hielo* a 0°C. Q_1 = ... cal.

* * * * *

$Q = mc\ \Delta T$

$\Delta T = 0°C - (-20°C) = 20°C$

$Q_1 = (10\ g)\ (0.5\ cal/gC°)\ (20C°)$

$Q_1 =$ **100 cal.**

37. Panel 15, problema 3. Ahora calculemos el calor Q_2 necesario para cambiar 10 g de *hielo* a 0°C a 10 g de *agua* a 0°C; para lograrlo tenemos que usar el calor de ..... del hielo, que es de 80 ..... (*unidades*).

$Q_2 =$ ..... cal.

* * * * *

fusión; cal/g; $Q_2 = (10)\ (80\ cal/g) =$ **800 cal.**

38. Panel 15, problema 3. La absorción de estas 800 cal (cambia/no cambia) la temperatura del hielo (o del agua).

* * * * *

no cambia.

39. Panel 15, problema 3. Ahora tenemos 10 g de agua a 0°C. Sea Q_3 el calor necesario para convertir esta agua en 10 g de agua a 100°C.
$Q_3 =$ ..... cal.

* * * * *

$Q = mc\ \Delta T$
$c = 1$ cal/gC°; $\Delta T = 100$C°
$Q_3 = (10\text{ g})\ (1\text{ cal/gC°})\ (100\text{C°})$
$=$ **1000 cal.**

40. Panel 15, problema 3. 100°C es el punto de ebullición del agua bajo las condiciones de presión enunciadas en el problema. Mientras los 10 g de agua a 100°C se están convirtiendo en vapor, (hay/no hay) cambios en su temperatura.

* * * * *

no hay.

41. Panel 15, problema 3. Sea Q_4 el calor que absorben 10 g de agua a 100°C al transformarse en 10 g de vapor a 100°C.
$Q_4 =$ ..... cal.

* * * * *

Según el panel 17, el calor de evaporación del agua es de 540 cal/g.
$Q_4 = (10\text{ g})\,(540\text{ cal/g}) =$ **5400 cal.**

42. Panel 15, problema 3. Sea Q_5 el calor necesario para cambiar 10 g de vapor a 100°C en 10 g de vapor a 120°C.
$Q_5 =$ ..... cal.

* * * * *

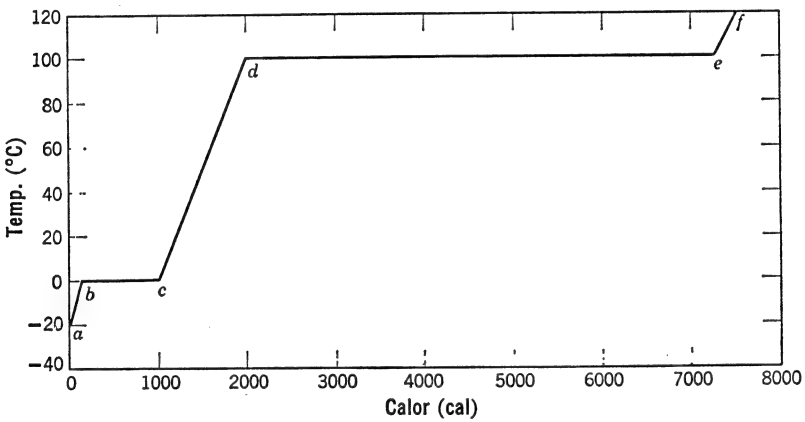
$Q = mc\ \Delta T$
$c = 0.5$ cal/gC°; $\Delta T = 120\text{°C} - 100\text{°C}$
$= 20\text{C°}$
$Q_5 = (10\text{ g})\ (0.5\text{ cal/gC°})\ (20\text{ C°})$
$=$ **100 cal.**

43. Panel 15, problema 3. Resumimos los datos que hemos calculado como sigue:
$Q_1 = 100$ cal
$Q_2 = 800$ cal
$Q_3 = 1000$ cal

$Q_4 = 5400$ cal
$Q_5 = 100$ cal.
El calor necesario para convertir 10 g de hielo a —20°C en 10 g de vapor a 120°C es de ..... cal.
$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 7400$ cal.

44.

Esta es una gráfica calor-temperatura de los datos del problema 3 del panel 15. La línea *bc* representa un proceso en el que [(1) ocurren juntos un aumento de temperatura y una absorción de calor/(2) hay un aumento de temperatura pero no hay absorción de calor/(3) no hay cambio de temperatura que acompañe a una absorción de calor].



La línea *cd* describe un proceso en el que [(1) el agua se transforma en vapor/(2) el hielo se convierte en agua/(3) se eleva la temperatura del agua]. La línea *de* describe un proceso en el que [(1) el hielo se convierte en agua/(2) el agua se convierte en vapor/(3) se eleva la temperatura del agua]. La línea *ef* describe un proceso en el que [(1) el agua se transforma en vapor/(2) se eleva la temperatura del vapor/(3) se eleva la temperatura del agua].

* * * * *

(3); (3); (2); (2).

45. Refirámonos a la gráfica del marco anterior. ¿Qué líneas (*ab, bc,* etc.) representan procesos en los que el sistema absorde calor *sin* ir acompañado de aumentos de temperatura?; ¿qué línea representa un proceso en el que el agua a 0°C se cambia en agua a 100°C?

* * * * *

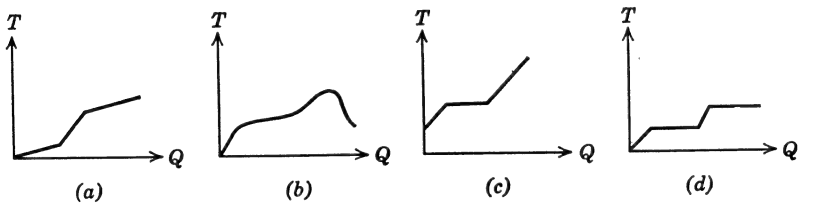
bc y *de*; *cd*.

46. Refiérase a la gráfica del cuadro 44. El calor que absorbe el proceso descrito por la línea *de* se llama calor latente de (fusión/evaporación). El calor que absorbe el proceso descrito por la línea *bc* se llama calor latente de (fusión/evaporación).

* * * * *

evaporación; fusión.

47. No obstante que los valores reales del calor de fusión y de evaporación de substancias que no sean el agua no son los mismos que se indican en la gráfica del cuadro 44, la forma de esta gráfica es, en general, característica de cualquier substancia cristalina que se caliente y pase por sus fases sólida, líquida y gaseosa. ¿Cuál de las gráficas



calor-temperatura que se ilustran podría representar un proceso en el que un sólido cristalino sufre fusión y después evaporación (*a*/*b*/*c*/*d*).

* * * * *

d.

48. Panel 15. Lea el problema 4. El calor que se pierde en esta interacción lo perderá el ..... inicialmente a ..... °C. Si representamos con T la temperatura de equilibrio de la mezcla, el calor que pierde esta parte del sistema, en función de T, es $Q =$ .....

* * * * *

agua; 35; (200 g) (1 cal/gC°) $(35 - T)$C° o bien 200 $(35 - T)$.

49. Panel 15, problema 4. El calor que obtiene esta mezcla lo gana el *hielo* inicialmente a 0°C. Esta ganancia tiene lugar en dos pasos:
1) el hielo absorbe suficiente calor para convertirse en *agua* a 0°C; esto puede calcularse y es de ..... cal.
2) Esta agua se calienta posteriormente de 0°C a la temperatura de equilibrio térmico T. Podemos escribir una expresión para lo anterior, en función de T; ésta es: .....

* * * * *

(25 g) (80 cal/g) = 2000 cal

(25 g) (1 cal/gC°) $(T - 0°C) = 25\ T$.

50. Panel 15, problema 4. El valor que pierden los 200 g de agua a 35°C es $200(35 - T)$. El calor que obtienen los 25 g de hielo a 0°C es de 2000 cal $+ 25T$. Bajo las condiciones de este problema estas cantidades (son/no son) iguales. Calcule la temperatura de equilibrio térmico.

* * * * *

son;

$$200\,(35 - T) = 2000 + 25T$$
$$7000 - 200T = 2000 + 25T$$
$$7000 - 200T = 2000 + 25T$$
$$5000 = 225T$$
$$T = 22°\text{C}.$$

51. *Repaso:* La caloría es una unidad que mide (temperatura/masa/calor).

* * * * *

calor.

52. *Repaso:* El calor específico de una substancia es el calor necesario para elevar ..... (*número y unidad*) de esa substancia ..... °C. Los calores específicos de una substancia en sus fases sólida, líquida y gaseosa son (iguales/diferentes).

* * * * *

1 g; 1; diferentes.

53. *Repaso:* El calor necesario para transformar 1 g de un sólido en su punto de fusión en líquido a la misma temperatura se llama su .... (*complete*).
El calor necesario para convertir 1 g de un líquido en su punto de ebullición en gas a la misma temperatura se llama su .... (*complete*).

* * * * *

calor de fusión; calor de evaporación.

54. *Repaso:* 250 cal es el calor que se requiere para cambiar 10 g de una substancia de sólida a líquida cuando está en su punto de fusión. Se requieren 500 cal para convertir estos 10 g de líquido en gas cuando están en su punto de ebullición. Calcule el calor latente de fusión y de evaporación de esta substancia.

* * * * *

Calor de fusión = 250 cal/10 g = 25 cal/g
Calor de evaporación = 5000 cal/10 g = 500 cal/g

55. *Repaso:* ¿Cuánto calor se requiere para elevar la temperatura de 10 g de plomo, de 25 a 50°C?

* * * * *

$Q = mc\ \Delta T$
$Q = (10\ g)\ (0.030\ cal/gC°)\ (25\ C°)$
$= 7.5\ cal.$

Sección 3. El equivalente mecánico del calor. Aplicaciones de la primera ley de la termodinámica. Procesos isobáricos, isocóricos y adiabáticos.

1. Conforme a la primera ley de la termodinámica, las unidades que miden, por una parte, energía y trabajo y por la otra calor, (deben/no necesitan) ser intercambiables. En la sección 2 medimos la transferencia de calor con la unidad llamada ..... En mecánica medimos el trabajo y la energía en unidades llamadas ..... o .....

* * * * *

deben; caloría; *en cualquier orden:* joules, ergs.

2. Vea el panel 18; examine la Fig. 1 y lea el párrafo descriptivo. Este agitador es un dispositivo que se emplea para determinar el equivalente ..... del ..... El trabajo (W) que realizan sobre el sistema las pesas al caer se mide en joules. Si conocemos la masa del agua dentro del agitador y el aumento de su ..... debido a la agitación que producen las paletas, podemos calcular la cantidad de calor (Q) que se transfiere al agua en ..... (*unidades*). El calor que absorben el recipiente y las paletas (es/no es) despreciable. Bajo estas condiciones, el trabajo que realizan las pesas al caer (es/no es) igual al calor que absorbe el agua.

* * * * *

mecánico; calor; temperatura; calorías; es; es.

3. Panel 18. Muchos experimentos que se basan en el mismo método descrito en este panel han permitido a los científicos determinar un factor de conversión que nos permite cambiar mediciones en calorías a su equivalente en joules Este factor de conversión está dado por la expresión: 1 cal = 4.186 joules. Esto significa que una transferencia de calor de 10 cal equivale a ..... joules. Use esta expresión para encontrar el equivalente en calorías de un joule es decir, 1 joule = ... cal (con 2 cifras decimales).

* * * * *

10 cal = 10 (4.186 joules)
10 cal = **41.86 joules**
1 cal = 4.186 joules
$\frac{1}{4.186}$ cal = 1 joule
1 joule = 0.24 cal.

4. Panel 17. Convierta a joules/g el calor latente de evaporación del agua.

* * * * *

1 cal = 4.186 joules
540 cal = (540) (4.186 joules)
= 2260 joules
540 cal/g = 2260 joules/g.

5. Refiérase al panel 15; lea el problema 5. Calcule la energía cinética de la bala antes de dar en el blanco.

$E_k = \frac{1}{2}\ mv^2 = \frac{1}{2}\ (0.005)\ (1000)^2$
$E_k = 2500$ joules.

6. Panel 15, problema 5. El valor de esta energía cinética empleada en calentar la bala cuando da en el blanco es de ..... joules. Convirtiendo este valor a su equivalente en calorías, la energía cinética que se emplea en calentar la bala es de ..... calorías.

* * * * *

1/50 (2500 joules) = **50 joules**
1 joule = 0.24 cal
50 joules = 50(0.24 cal) = **12.00 cal.**

7. Panel 15, problema 5. El calor que absorbe la bala al chocar con el blanco es de ..... cal. El calor específico del plomo es de ..... cal/gC°. La masa de la bala es de ..... g. Use estos datos para calcular el cambio de temperatura de la bala.

* * * * *

12; 0.030; 0.005 kg = 5 g
$Q = mc\ \Delta T$
12 cal = (5 g) (0.030 cal/gC°) ΔT
$\Delta T = \frac{12}{(5)\ (0.030)} = 80$ C°.

8. Refiérase al panel 18 y examine la Fig. 2(*a*). Un gas confinado en un cilindro con un pistón móvil ejerce una presión p contra el pistón. El área de la sección del pistón es A en función de p y A, la fueza F que se aplica al pistón es $F =$ .....

* * * * *

Por definición: $p = F/A$;
por lo tanto: $F = pA$.

9. Panel 18, Fig. 2. Supongamos que el gas en el cilindro se expande *a presión constante* hasta llegar al estado indicado en la Fig. 2(*b*). Puesto que p y A son constantes, F también lo es. En función de F y Δl (que es la distancia que recorrió el pistón), el trabajo (W) que realizó el gas al expanderse está dado por la ecuación $W =$ ..... En función de p, A y Δl, $W =$ .....

* * * * *

$F\Delta l$; puesto que $F = pA$,

$$W = \mathbf{pA}\ \Delta \boldsymbol{l}$$

10. Panel 18, Fig. 2. El trabajo que realiza el gas al cambiar de volumen en una cantidad ΔV está dado por la ecuación $W = pA\,\Delta l$. Pero "$A\,\Delta l$" es igual al cambio de ..... del gas cuando se expandió al estado que se indica en la Fig. 2(*b*). El trabajo que realiza un gas que se expande a presión (constante/variable) se puede describir en función de p y ΔV como sigue: $W =$ .....

* * * * *

volumen; constante; $p\Delta V$ (puesto que $W = pA\,\Delta l$ y $\Delta V = A\Delta l$).

11. Panel 18, Fig. 2. Supongamos que el gas se expande a una presión constante de 1.01×10^5 N/m^2, de un volumen de 2×10^{-5} m^3 a uno de 5×10^{-5} m^3. Calcule en joules el trabajo que realiza el gas.

* * * * *

$\Delta V = (5 \times 10^{-5}) - (3 \times 10^{-5}) = 2 \times 10^{5-}$ m^3
$W = p\Delta V = (1.01 \times 10^5\ \text{N/m}^2)(2 \times 10^{-5}\ \text{m}^3)$
$W = 2.02$ joules.

12. Panel 18, Fig. 2. Suponga que mediante una fuerza externa se comprime el gas a una presión *constante* de 2.02×10^5 N/m^2, de un volumen de 3×10^{-4} m^3 a uno de 1×10^{-4} m^3. En este caso, el trabajo que realiza el gas es (positivo/negativo); el trabajo que realiza la fuerza externa es (positivo/negativo).

* * * * *

negativo; positivo.

13. Refiérase a los datos del cuadro anterior y calcule el trabajo que realiza el gas en este proceso.

* * * * *

$$\Delta V = (1 \times 10^{-4}\ \text{m}^3) - (3 \times 10^{-4}\ \text{m}^3)$$
$$= -2 \times 10^{-4}\ \text{m}^3$$
$$W = p\Delta V = (2.02 \times 10^5\ \text{N/m}^3)\ (-2 \times 10^{-4}\ \text{m}^3)$$
$$W = -4.04 \times 10^1\ \text{joules}$$
$$= -40.4\ \text{joules.}$$

14. Panel 18. La figura 3 es una gráfica p-V que indica una variedad de formas en las que se puede expander un gas, de un volumen inicial V_i a uno final V_f. La trayectoria *ib* representa un proceso en el que el gas se expande a presión (constante/variable). La trayectoria *if* representa un proceso en el que el gas se expande a presión (constante/variable). En ambos casos el trabajo que realiza la expansión está representado por el *área* que limitan la trayectoria y el eje V. ¿En qué proceso (*ib*/*if*) realiza más trabajo el gas?

* * * * *

constante; variable; *ib*.

15. Panel 18, Fig. 3. La trayectoria *iaf* se puede analizar en dos partes: En *ia* la presión del gas (aumenta/disminuye/permanece constante) mientras el volumen (aumenta/disminuye/permanece constante). En *af* el gas (se expande/tiene un volumen constante) mientras su presión (aumenta/disminuye/permanece constante). En este proceso, el trabajo que realiza el gas está representado por el ..... que limitan (*ia*/*af*/*ib*/*if*) y el eje V. El trabajo que realiza este proceso en particular es (mayor que el/menor que el/igual al) trabajo que realiza el proceso descrito por la trayectoria *if*.

* * * * *

disminuye (de p_i a p_f); permanece constante (en V_i); se expande (de V_i a V_f); permanece constante (en *pf*); área; *af*; menor que el.

16. Panel 18. En la Fig. 3, ΔV = ... (en función de V_i y V_f). En la trayectoria *ib* la presión que permanece constante es p_i. El trabajo que realiza el gas en este proceso específico está dado por la ecuación: W = ... = ... (en función de V_i, V_f y p_i). Este trabajo queda representado en la gráfica por el área del rectángulo ..... (*identificado por sus vértices*).

* * * * *

$V_f - V_i$; $W = p\Delta V = p_i(V_f - V_i)$; *ibde*.

17. Panel 18. La figura 3 indica que el trabajo que realice el gas al expanderse (depende/no depende) de la trayectoria particular que siga al cambiar del estado *i* al estado *f*.

* * * * *

depende.

18. Panel 18, Fig. 3. Algunos de los procesos representados en esta figura se acompañan de una transferencia de calor hacia o fuera del gas. Por ejemplo, el proceso que describe la trayectoria *if* requiere transferencia de calor hacia el sistema. La experimentación indica que la cantidad de calor que absorbe el sistema depende de la trayectoria que siga. La cantidad de calor que absorben las trayectorias *ib* e *if* es (la misma/diferente).

* * * * *

diferente.

19. Panel 18, Fig. 3. Hemos visto que en cualquier cambio de estado de *i* a *f*:
1) el trabajo que realiza el sistema es independiente de la trayectoria que siga
2) La transferencia de calor hacia o desde el sistema es independiente de la trayectoria que siga.
3) Tanto el trabajo realizado como la transferencia de calor dependen de la trayectoria seguida.

* * * * *

3).

20. Panel 18, Fig. 3. El experimento indica que no obstante que W o Q dependen individualmente de la trayectoria seguida de *i* a *f*, la diferencia $(Q - W)$ es igual para cada trayectoria. Recuerde la primera ley de la termodinámica: en términos matemáticos enuncia que ..... $= (Q - W)$; esto significa que el cambio de .... del gas (es/no es) el mismo en todas las trayectorias.

* * * * *

ΔU; energía interna; es.

21. Panel 15. Lea el problema 6. El *cambio* de volumen de 1 g de agua al convertirse a 1 g de vapor, a la presión atmosférica, es ΔV = ... m^3.

* * * * *

$\Delta V = (1671 \times 10^{-6}\ m^3) - (1 \times 10^{-6}\ m^3)$
$= 1670 \times 10^{-6}\ m^3$.

22. Panel 15, problema 6. El trabajo que realiza el vapor durante esta expansión es de ..... joules.

* * * * *

$W = p\Delta V = (1.01 \times 10^5 \text{ N/m}^2)\ (1670 \times 10^{-6} \text{ m}^3)$
$= 1686.7 \times 10^{-1}$ joules $= 168.67$ joules.

23. Panel 15, problema 6. El calor necesario para convertir 1 g de agua a 100°C en 1 g de vapor a 100°C (a una presión de 1 atm) es de ..... cal, o ..... joules.

* * * * *

540; (540) (4.186 joules) = **2260.44 joules.**

24. Panel 15, problema 6. En función de W y Q, el cambio en la energía interna de este sistema es $\Delta U =$ ..... Calcule ΔU en joules y conviértalo en calorías.

* * * * *

$Q - W$;
$\Delta U = 2260.44$ joules $- 168.67$ joules
$=$ **2091.77 joules**
$= 2091.77\ (0.24 \text{ cal}) =$ **502 cal.**

25. Cuando un gas se expande (como en el problema 6) a *presión constante,* (todo el/parte del/ningún) calor que se transfiere al sistema se traduce en un aumento de la energía interna del gas y (todo el/parte del/ningún) calor se traduce en trabajo de expansión.

* * * * *

parte del; parte del.

26. Refiérase al panel 19. Examine las figuras y lea el párrafo descriptivo. En la Fig. 1, a medida que fluye el calor hacia el gas, su (presión/volumen/temperatura) permanece constante. En la Fig. 2, a medida que fluye el calor hacia el gas, su (presión/volumen/temperatura) permanece constante.

* * * * *

volumen; presión.

27. Panel 19. Se llama *isobárico* a un proceso que tenga lugar a presión constante. La Fig. 1 (es/no es) un ejemplo de proceso isobárico. La Fig. 2 (es/no es) un ejemplo de proceso isobárico.

* * * * *

no es; es.

28. Panel 19. Un proceso que se verifica a volumen constante se llama *isocórico*. El proceso mostrado en la Fig. 3 (es/no es) isocórico.

* * * * *

no es.

29. Panel 19. El proceso mostrado en la Fig. 1 es ..... El proceso mostrado en la Fig. 2 es ..... El ilustrado en la figura 3 es .....

* * * * *

isocórico; isobárico; adiabático.

30. Un proceso adiabático es aquél en el que no hay .... (*complete*).
Un proceso isocórico es aquél en el que no hay .... (*complete*).
Un proceso isobárico es el que ocurre a ..... (*complete*).

* * * * *

transferencia de calor hacia o desde el sistema; cambio de volumen del sistema; presión constante.

31. Panel 19. Apliquemos la primera ley de la termodinámica al gas de la Fig. 1.

1) $\Delta U = Q - W$.

2) Despejando Q en (1): $Q =$ .....

3) Puesto que el gas de la Fig. 1 (se expande/no se puede expandir) (realiza un/no realiza) trabajo; esto significa que (todo el/parte del/ningún) calor (Q) se traduce en un aumento de la energía interna.

* * * * *

$\Delta U + W$; no se puede expandir; no realiza; todo el.

32. Panel 19. Para el proceso isocórico de la Fig. 1, $Q = \Delta U + W$ se simplifica y queda así: ..... = ...

* * * * *

$Q = \Delta U$.

33. Panel 19. En la Fig. 2 el gas se expande a presión constante p a medida que Q se transfiere a él. Sea ΔV el cambio de volumen. En el proceso isobárico de la Fig. 2:

1) $Q = \Delta U + W$.

2) $Q =$ ....., en función de ΔU, ΔV y p.

* * * * *

$\Delta U + p\Delta V$.

34. Panel 19, Fig. 2. En este proceso, (todo el/parte del/ningún) calor Q que se transfiere al gas se traduce en un aumento de la energía interna y (todo/parte de/nada de) él se traduce en trabajo que se realiza sobre un objeto externo (el pistón).

* * * * *

parte del; parte de.

35. Panel 19. Ahora suponga que se colocan masas iguales m del *mismo* gas en los recipientes de las Figs. 1 y 2.
En la Fig. 1, $Q_1 = \Delta U$.
En la Fig. 2, $Q_2 = \Delta U + p\Delta V$.
Para producir el *mismo* aumento de energía interna, Q_2 debe ser (igual a/menor que/mayor que) Q_1.

* * * * *

mayor que (en la cantidad $p\Delta V$).

36. Panel 19, Figs. 1 y 2. Recuerde nuestra ecuación para calcular el calor específico:

$c = Q/m\Delta T$ (despejando c en la ecuación $Q = mc\Delta T$).

Aplicándola a la Fig. 1, se convierte en:

$$C_v = \frac{Q_1}{m\Delta T} = \frac{\Delta U}{m\Delta T}.$$

Aplicándola a la Fig. 2, se convierte en:

$$C_p = \frac{Q_2}{m\Delta T} = \frac{\Delta U}{m\Delta T} + \frac{p\Delta V}{m\Delta T}.$$

C_v es el calor específico del gas, a (volumen/presión) constante. C_p es el calor específico del gas, a (volumen/presión) constante; ¿Cuál es mayor? (C_v/C_p).

* * * * *

volumen; presión; C_p.

37. El calor específico de un gas varía, dependiendo esta variación de si se determina en una muestra que se caliente a ..... constante o una que se caliente a ..... constante. El calor específico

de un gas, en un proceso (isobárico/isocórico) es menor que el calor específico del mismo gas, en un proceso (isobárico/isocórico).

* * * * *

En cualquier orden: presión, volumen; isocórico; isobárico.

38. Cada gas tiene dos calores específicos, uno se determina a presión constante y el otro a volumen constante y se representan respectivamente con C_p y C_v. Hemos demostrado que $C_v = \frac{\Delta U}{m\Delta T}$ y $C_p = \frac{\Delta U}{m\Delta T}$ $+ \frac{p\Delta U}{m\Delta T}$. Esto significa que $C_p = C_v +$ .....

* * * * *

$\frac{p\Delta U}{m\Delta T}$.

39. Refirámonos al panel 14. Observe que se dan dos calores específicos para los gases. C_v para el hidrógeno es de ..... y el C_p del aire es de .....

* * * * *

2.44 cal/gC°; 0.240 cal/gC°.

40. Panel 14. El C_p del vapor es de .....; el C_v del vapor es de .....

* * * * *

0.482 cal/gC°; 0.364 cal/gC°.

41. Panel 19. El gas de la Fig. 3 se expande adiabáticamente, es decir (hay/no hay) transferencia de calor hacia o desde el gas. Cuando se aplica a este proceso la ecuación $\Delta U = Q - W$, ($\Delta U/Q/W$) vale cero y la ecuación se convierte en ..... = ...

* * * * *

no hay; Q; $\Delta U = -W$.

42. Panel 19, Fig. 3. La expansión adiabática (aumenta/disminuye) la energía interna del gas. Cuando se comprime el gas, se realiza un trabajo sobre el sistema y la energía interna del gas (aumenta/disminuye).

* * * * *

disminuye (ΔU es una cantidad negativa); aumenta.

43. Los procesos que se verifican en recipientes bien aislados (Fig. 3, panel 9) son aproximadamente procesos adiabáticos; las transferencias de calor son generalmente tan lentas comparadas con la proporción en que cambian la presión y el volumen, que las expansiones y compresiones que ocurren rápidamente (es/no es) probable que sean adiabáticas, mientras que las expansiones y compresiones que ocurren muy lentamente (es/no es) probable que sean adiabáticas.

* * * * *

es; no es.

44. Los aumentos o disminuciones de la energía interna de un *gas* generalmente se acompañan de aumentos o disminuciones correspondientes de la temperatura del gas. Una compresión o una expansión *adiabática* de un gas (produce un aumento o disminución correspondiente/no produce cambios) de temperatura en el gas. Los procesos adiabáticos en los gases (es/no es) probable que sean isotérmicos.

* * * * *

produce un aumento o disminución correspondiente; no es.

45. En una expansión adiabática, el término ..... en "$\Delta U = Q - p\Delta V$" vale cero y la ecuación de la primera ley de la termodinámica se reduce a: ..... = ...

* * * * *

Q; $\Delta U = -p\Delta V$, o bien $\Delta U = -W$.

46. En un proceso isocórico, el término ..... en "$\Delta U = Q - W$" vale cero y esta ecuación se reduce a: ..... = ...

* * * * *

W; $\Delta U = Q$.

47. *Repaso:* Convierta 80 cal en su equivalente en joules. Convierta 400 joules en su equivalente en calorías.

* * * * *

1 cal = 4.186 joules
80 cal = 335 joules
1 joule = 0.24 cal
400 joules = 96 cal.

48. *Repaso:* Los aumentos o disminuciones *rápidos* de volumen en un sistema es probable que sean (isocóricos/isobáricos/isotérmicos/adiabáticos).

* * * * *

adiabáticos.

49. *Repaso:* El factor de conversión 4.186 joules/cal se llama equivalente ..... del .....

* * * * *

mecánico; calor.

50. *Repaso:* Una expansión que ocurre a presión constante se llama (isotérmica/isocórica/adiabática/isobárica); una expansión que ocurre a temperatura constante se llama (isotérmica/isocórica/adiabática/isobárica); un proceso en el que todo el calor que absorbe el gas se traduce en un aumento de su energía interna y por lo tanto no se produce expansión, se llama (isotérmico/isocórico/adiabático/isobárico).

* * * * *

isobárica; isotérmica; isocórico.

51. *Repaso:* En un proceso (isocórico/isobárico) la ecuación "$\Delta U = Q - W$" se convierte en "$\Delta U = Q - p\Delta V$" y en un proceso (isocórico/isobárico) se transforma en "$\Delta U = Q$".

* * * * *

isobárico; isocórico.

Sección 4. Métodos de transferencia de calor: La conducción, la convección y la radiación

1. El calor es la ..... que fluye entre dos objetos, debido a una ..... en sus .....

* * * * *

energía; diferencia; temperaturas.

2. Si usted coloca un extremo de una varilla metálica en una flama, siente que el otro extremo se calienta aunque *no* esté en contacto directo con la flama. Decimos que el calor llega al extremo más frío de la varilla mediante el proceso que se llama *conducción*. Las moléculas del gas de la flama, que se mueven rápidamente, bombardean a las moléculas del extremo de la varilla que está en la flama y por lo tanto absorben parte de su energía. .....

* * * * *

cinética.

3. A pesar de que las moléculas del extremo de la barra no son capaces de moverse libremente (como las moléculas del gas de la flama), la

energía cinética que absorben de las moléculas de gas de la flama las hace oscilar con mayor desplazamiento de las posiciones que guardan en su red cristalina. Estas oscilaciones transfieren energía cinética a las moléculas alejadas de la flama (produciendo con ello un aumento/produciendo con ello una disminución/no produciendo ningún cambio) de temperatura en el extremo de la varilla que *no* está en la flama.

* * * * *

produciendo con ello un aumento.

4. En la transferencia de calor por conducción hay una transferencia de energía cinética de las moléculas que oscilan con (mayor/menor) rapidez a las moléculas que oscilan con (mayor/menor) rapidez. (Hay/no hay) transferencia de energía de un extremo a otro de la varilla; (hay/no hay) movimiento de moléculas de un extremo al otro.

* * * * *

mayor; menor; Hay; no hay.

5. Este tipo de transferencia de calor, que consiste en la transferencia de energía cinética de una molécula a otra de un sólido se llama ...
.....

* * * * *

conducción.

6. La conducción de calor en un cuerpo ocurre solamente cuando se mantienen a diferente temperatura las distintas partes del cuerpo; la dirección que sigue la conducción del calor es de las áreas de (mayor/menor) temperatura a las áreas de (mayor/menor) temperatura. También es lógico que la rapidez con que se conduzca el calor sea (directamente/inversamente) proporcional a la diferencia de temperaturas.

* * * * *

mayor; menor; directamente.

7. Refiérase al panel 20. La Fig. 1 representa una placa de material cuyas caras mayores tienen áreas A. La cara izquierda (no visible en la figura) se mantiene a una temperatura constante T_2; la derecha se mantiene a una temperatura constante T_1; T_2 es mayor que T_1. Mientras exista esta diferencia de temperaturas, el calor fluirá a través de la placa, de la cara (derecha/izquierda) a la cara (derecha/izquierda) mediante el proceso que llamamos de .....

* * * * *

izquierda; derecha; conducción.

8. Panel 20, Fig. 1. El experimento indica que la cantidad de calor (Q) que fluye de la cara izquierda a la cara derecha de esta placa es *directamente* proporcional a la diferencia de temperaturas ($T_2 - T_1$), al área A de las caras y al tiempo t en el cual se mantenga esta diferencia de temperaturas. El experimento indica posteriormente que la transferencia de calor de una cara a la otra es *inversamente* proporcional al espesor (d) de la placa. Use k como constante de proporcionalidad y escriba una ecuación para Q, en función de t, d, A y ($T_2 - T_1$) que refleje estas relaciones experimentales.

* * * * *

$$Q = k \frac{At(T_2 - T_1)}{d}$$

9. Panel 20. $Q = k \dfrac{At(T_2 - T_1)}{d}$. k es una constante que se denomina *conductividad térmica* de la substancia en que ocurre la conducción del calor. La figura 2 muestra una tabla de valores de k. En esta tabla, las unidades que se dan para k son .....

* * * * *

$$\frac{\text{cal/seg}}{\text{cm}^2 \times \dfrac{\text{C°}}{\text{cm}}}.$$

10. Panel 20. La Fig. 2 es un conjunto de unidades más bien difícil de recordar, pero no es necesario memorizarlas si usted reflexiona que indican las unidades en que han de medirse A, t, Q, etc., para usar los valores de k de esta tabla. Q debe medirse en ....., t en ....., d en ....., A *en* .....

* * * * *

cal; seg; cm; cm^2.

11. Panel 20, Fig. 2. Puesto que un grado Kelvin (equivale/no equivale) a un grado Celsius, cuando usted use un valor de k de esta tabla, T_1 y T_2 pueden medirse en (°C solamente/°K solamente/°C o °K).

* * * * *

equivale; °C o °K (las lecturas en grados Kelvin son mayores que las lecturas en grados centígrados, en 273°, pero un C° y un K° son equivalentes, puesto que la diferencia entre el punto de fusión del hielo y el punto de ebullición del agua es de 100° en ambas escalas).

12. Panel 20, Figs. 1 y 2. Suponga que T_1 es 20°C y T_2 es 120°C y que el área es $A = 100$ cm². Si $d = 0.001$ cm y esta diferencia de temperaturas se mantiene durante 200 seg, calcule el calor que fluye a través de la placa, que es de aluminio.

* * * * *

$$Q = k \frac{At(T_2 - T_1)}{d}$$

$$= (0.50) \frac{(100)\ (200)\ (120 - 20)}{0.001}$$

$$= 10^9 \text{ cal.}$$

13. Panel 20, Fig. 2. Un material con un valor elevado de k es buen conductor de calor; un material con un valor bajo k es un mal conductor de calor o buen *aislante*. El aluminio (es/no es) mejor conductor que el cobre. Comparado con cualquier metal, el aire es (buen/mal) conductor y (buen/mal) aislante.

* * * * *

no es; mal; buen.

14. Panel 20, Fig. 2. Observe que, en general, los metales enlistados aquí son buenos (conductores/aisladores) térmicos. Recuerde que respecto a su habilidad para conducir una corriente eléctrica a temperatura ambiente, los metales son, en general, mejores (conductores/aisladores) que los no metales.

* * * * *

conductores; conductores.

15. Los metales son buenos conductores de electricidad porque contienen electrones en libertad de moverse alrededor del metal (*libres* o electrones de conducción) y por lo tanto están en disposición de transportar cargas eléctricas a través del metal. Los metales son buenos conductores de ..... porque se dispone de estos electrones libres para ayudar a transmitir energía ..... a través del metal.

* * * * *

calor; cinética.

16. Los sólidos no metálicos no tienen electrones libres y son, por igual, (buenos/malos) conductores de *electricidad;* por la misma razón suponemos que los no metales, en general, sean (mejores/peores) conductores de *calor* que los metales.

* * * * *

malos; peores.

17. Panel 15. Lea el problema 7. La transferencia de calor que se describe aquí tiene lugar mediante el proceso de ..... La ecuación que describe este proceso en función de Q, t, A, d, T_1 y T_2 es: .....
.....
* * * * *

conducción; $Q = k \dfrac{At(T_2 - T_1)}{d}$.

18. Panel 15, problema 7.

$$k = \text{.....} \frac{\text{(cal/seg)}}{\text{cm}^2 \times \dfrac{\text{C°}}{\text{cm}}}$$

d = ... cm
A = ... m^2 = ... cm^2
$T_2 - T_1$ = ... C°
t = ... seg
Q = ... cal.
* * * * *

0.0025; 0.3; 1 $m^2 = 10^4$ cm^2; 25°C − 10°C = 15C°; 3 hs = 3(3600 seg) = **10,800 seg**; $Q = \dfrac{(0.0025)\ (10^4)\ (10{,}800)\ (15)}{0.3} = \mathbf{1.35 \times 10^{13}}$ **cal.**

19. Un segundo método de transferencia de calor es la *convección.* La convección es la transferencia de calor de un lugar a otro mediante la *transferencia propiamente dicha de material caliente (o tibio).*
Se coloca un ventilador en una esquina de una habitación cerca de un radiador y se usa para soplar aire tibio de la vecindad del radiador a otras partes de la habitación. Este es un ejemplo de transferencia de calor por (conducción/convección).
* * * * *

convección.

20. En la conducción, la (energía/materia) es lo que se mueve de un lugar a otro (por ejemplo, del extremo caliente de la barra al extremo frío). Puesto que la estructura rígida de los sólidos hace en extremo difícil que cada molécula se mueva de una parte a otra del sólido, (es/no es) probable que gran parte de la transferencia de calor ocurra en un sólido por convección.
* * * * *

energía; no es.

21. La transferencia de calor que implique un movimiento real de materia de un lugar a otro es la .....
* * * * *

convección.

22. Las moléculas de los fluidos (es decir, líquidos o gases) tienen (más/menos) libertad para moverse que las de los sólidos. Los fluidos, en general, tienen (mayor/menor) conductividad térmica que los sólidos metálicos. La transferencia de calor en un fluido es (más/menos) probable que tenga lugar por convección que por conducción.
* * * * *

más; menor; más.

23. Refiérase al panel 20. La Fig. 3 representa un tubo rectangular lleno de un líquido; a medida que se calienta la columna sobre *A,* el líquido sobre *A* se (expande/contrae) y se hace (más/menos) denso que el líquido sobre *B.*
* * * * *

expande; menos (puesto que con la expansión su volumen aumenta).

24. Panel 20, Fig. 3. Esto significa que la presión en *B* se hará (mayor/menor) que la presión en *A;* como resultado, el agua caliente en *A* es forzada hacia (arriba/la derecha) y todo el líquido circula en la dirección (de/contraria a) las manecillas del reloj.
* * * * *

mayor; arriba; de.

25. Panel 20, Fig. 3. A medida que sube el agua de *A,* la reemplaza el agua más fresca y (más/menos) densa de *B;* esto constituye una transferencia calorífica de (energía únicamente/materia). Por lo tanto, esta circulación de un líquido en el tubo es un ejemplo de (conducción/convección).
* * * * *

más; materia; convección.

26. El calor específico del suelo es menor que el del agua; como resultado, cuando está expuesto al Sol durante el día, el suelo sufre un aumento de temperatura (más/menos) rápido que el del mar próximo. Por lo menos durante parte del día el aire sobre el mar está más (frío/caliente) que el aire sobre el suelo.
* * * * *

más; frío.

27. Mientras persiste esta diferencia de temperaturas, el aire sobre el suelo tiende a (subir/moverse hacia el mar), mientras que el aire más fresco sobre el mar tiende a (subir/irse hacia la tierra).

* * * * *

subir; irse hacia la tierra.

28. En la costa durante el día la brisa fresca (se va al/viene del) mar. Este es un ejemplo de transferencia de calor por .....

* * * * *

viene del (es la que a menudo se le llama brisa marina); convección.

29. Durante el día el mar se calienta más lentamente que la costa y podemos esperar que por lo menos parte de la noche el aire sobre la tierra esté más (fresco/tibio) que el aire sobre el mar. Mientras persiste esta condición, la brisa sopla (del/hacia el) mar.

* * * * *

fresco; hacia el (es la que a veces llamamos brisa de tierra).

30. Por regla general los fluidos son (buenos/malos) conductores del calor. Cualquier transferencia efectiva de calor a través del aire es con seguridad el resultado de la (convección/conducción).

* * * * *

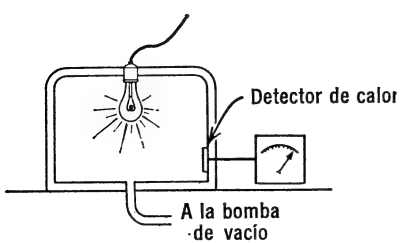
malos; convección.

31. Si usted mantiene su mano *bajo* una lámpara incandescente ordinaria, la sentirá tibia. La transferencia de calor de la lámpara a su mano (es/no puede ser) por convección, porque el aire (sube/baja) al calentarse y su mano está bajo la lámpara; la transferencia de calor de la lámpara a su mano (es/no es) probable que sea por conducción porque el aire es muy (buen/mal) conductor del calor.

* * * * *

no puede ser; sube; no es; mal.

32. En la conducción la energía se transfiere de molécula a molécula; en la convección se transfieren juntas la energía y las moléculas. La



lámpara incandescente suspendida dentro de este recipiente, al que se ha extraído el aire, no puede transferir calor al detector por ninguno de estos métodos. Explique por qué.

* * * * *

Puesto que el recipiente está al vacío, no se dispone de moléculas que transfieran energía por conducción o transfieran energía y moléculas por convección.

33. En las situaciones descritas en los cuadros 31 y 32 el método de transferencia de calor se llama *radiación.* (Como/a diferencia de) la convección y la conducción, la radiación transfiere energía de un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura; (como/a diferencia de) la convección y la conducción, la radiación puede transferir calor en el vacío.

* * * * *

Como; a diferencia de.

34. El calor del Sol llega a la Tierra por medio de la (conducción/convección/radiación). Explique su respuesta.

* * * * *

radiación (el espacio entre el Sol y la Tierra es casi el vacío; la radiación es el único método de transferencia de calor que puede explicar la gran cantidad de energía que nos llega del Sol).

35. Las superficies de todos los objetos emiten continuamente energía en forma de *ondas electromagnéticas.* Ya antes encontramos ondas electromagnéticas en nuestra discusión de las ondas luminosas, de la electricidad y del magnetismo. Las ondas electromagnéticas (pueden/no pueden) propagarse en el vacío.

* * * * *

pueden.

36. La experimentación indica que la transferencia de calor por radiación es sólo una forma de emisión de ondas ..... La rapidez de propagación de estas ondas en el vacío es (igual a/mayor que/menor que) la rapidez de la luz.

* * * * *

electromagnéticas; igual a.

37. Todas las superficies emiten continuamente ondas electromagnéticas, algunas de *las cuales son detectables como el calor, cuando inciden en otras superficies.* A medida que se eleva la temperatura de una

superficie, es lógico suponer que la energía que emite (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

aumenta.

38. Las ondas electromagnéticas *no son* materiales; son perturbaciones periódicas de los campos eléctricos y magnéticos y alcanzan su rapidez máxima donde (hay/no hay) materia.

No podemos describir a estas ondas como "tibias" o "calientes". Conducen (materia solamente/energía solamente/materia y energía); propagándose en el vacío, (son/no son) detectables como el calor.

* * * * *

no hay; energía solamente; no son.

39. Las ondas electromagnéticas, responsables de la transferencia de calor por ....., conducen la (materia/energía) que interacciona con las superficies donde inciden, (aumentando/disminuyendo) el movimiento molecular en dichas superficies.

* * * * *

radiación; energía; aumentando.

40. Las superficies *negras* y *ásperas* y a *mayor temperatura* que la de su medio ambiente son los mejores *emisores* de energía radiante. Un recipiente con agua caliente se enfriará más (rápidamente/lentamente) si se ennegrece su exterior con hollín que si se le pule.

* * * * *

rápidamente.

41. Las superficies *negras* y *ásperas* y a *menor temperatura* que su medio son el mejor *absorbente* de energía radiante. En la Fig. 4 del panel 20, el bulbo del termómetro *A* está cubierto con hollín (negro de humo), mientras que el bulbo del *B* está cubierto de papel plateado. Se insertan ambos en una cámara al vacío y se colocan a la misma distancia de la lámpara incandescente *L*. Bajo estas condiciones, el calor puede transferirse a los bulbos de los termómetros solamente por (conducción/radiación/convección). Suponga que al ponerlos en la cámara, ambos termómetros tienen la misma lectura. Después de un breve período de tiempo, debemos suponer que (*A*/*B*) haya absorbido más energía y esté a mayor temperatura.

* * * * *

radiación; *A*.

42. Las superficies muy pulidas son el mejor reflector de energía radiante y por lo tanto son (buenos/malos) absorbentes, si se comparan con superficies más ásperas y obscuras.

* * * * *

malos.

43. Las superficies negras y ásperas son buenos (reflectores/emisores/absorbentes) de energía radiante cuando están a mayor temperatura que la de su alrededor. Las superficies negras y ásperas son buenos (reflectores/emisores/absorbentes) de energía radiante cuando están a menor temperatura que la de su alrededor.

* * * * *

emisores; absorbentes.

44. Los "radiadores" de calor domésticos son dispositivos metálicos huecos llenos de vapor o de agua caliente. Algunas personas los cubren con pinturas metálicas de alto brillo, lo que les da la apariencia de estar muy pulidos. ¿Esto los hace mejores radiadores de calor?; (sí/no), describa una pintura o un acabado más eficiente.

* * * * *

No (las superficies brillantes y muy pulidas reflejan la energía radiante, ya sea interna o externa; un acabado obscuro y opaco haría de estos "radiadores" mejores emisores de calor).

45. Los experimentos demuestran que los mejores emisores de energía radiante son también *los mejores* absorbentes y, por lo tanto, *los peores* reflectores de energía externa. Un absorbente perfecto, el *radiador de cuerpo negro,* absorbe *toda* la energía radiante que llega a él. El radiador de cuerpo negro (refleja toda/refleja parte de/no refleja nada de) la energía radiante que incide en él.

* * * * *

no refleja nada de.

46. El radiador de cuerpo negro también es el mejor emisor de energía radiante a cualquier temperatura específica. El *poder de emisión* (*e*) de cualquier superficie radiante que emite un cuerpo negro a la misma temperatura y con la misma área superficial. El valor de *e* para cualquier superficie que no sea un cuerpo negro es (mayor que/menor que/igual a) 1.

* * * * *

menor que.

47. Numerosos experimentos indican que el poder de absorción (a) de una superficie, que es la razón de la energía radiante que absorbe realmente la superficie a la radiación total que incide en ella, es igual a su poder de emisión e. Por definición, el poder de emisión de un cuerpo negro es .... (*número*); el poder de absorción de un cuerpo negro es .... (*número*).

* * * * *

1; 1.

48. El *poder de reflexión* (r) de una superficie es la razón de la radiación que refleja a la radiación total que incide en ella. Por definición, r para un cuerpo negro vale .... (*número*).

* * * * *

0 o cero.

49. Refiérase al panel 21. Se trata de una tabla de los poderes de emisión y de reflexión de superficies típicas a una temperatura de ..... El poder de emisión del vidrio para ventanas es ..... El poder de absorción del vidrio para ventanas es .....

* * * * *

373°K; 0.88; 0.88 (puesto que $e = a$).

50. Panel 21. Compare e y r en cada tipo de superficie. Es evidente que $e + r =$ .....

* * * * *

1.

51. Panel 21. ¿Qué parte de la radiación total que incide en la hoja de aluminio se refleja? La energía radiante que emite una superficie ahumada a 373°K es el 97% de la energía radiante que emite un radiador de ..... a la misma temperatura.

* * * * *

0.94(ó 94%); cuerpo negro.

52. Obviamente, la cantidad de energía radiante que emite una superficie depende de su área y de su temperatura. Definimos la cantidad de emisión como la razón E/t, donde E es la radiación total emitida en un tiempo, t. Esta relación está dada en la *ley de Stefan-Boltzmann para la radiación total,* la cual expresa que la *cantidad* de energía que radia un *cuerpo negro* es directamente proporcional a su área superficial A y directamente proporcional a la *cuarta potencia* de su temperatura *Kelvin* T.

Use k como constante de proporcionalidad y escriba una ecuación para E/t para un cuerpo negro, en función de A y T. $E/t =$ .....

* * * * *

kAT^4.

53. $E/t = kAT^4$. Como lo afirma, esta ecuación da la ..... de energía radiante que emite (cualquier superficie/la superficie de un cuerpo negro). T es una medida de la temperatura (Celsius/Kelvin) de la superficie.

* * * * *

cantidad; la superficie de un cuerpo negro; Kelvin.

54. $E/t = ekAT^4$. Si incluimos en la ecuación el poder de emisión (e) de una superficie, podrá aplicarse a *todas* las superficies. En un cuerpo negro $e =$ .... y la ecuación se reduce a .....

* * * * *

1; $E/t = kAT^4$.

55. En la ley de Stefan-Boltzmann la k se reemplaza generalmente con la letra griega sigma (σ) y se llama constante de Stefan-Boltzmann.

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{joules}}{\text{m}^2\text{-seg-K}^{\circ 4}},$$

cuando E está en ..... (*unidad*), t está en ..... y A está en .....

* * * * *

joules; seg; m^2, metros cuadrados.

56. Usando σ y e, la ley de Stefan-Boltzmann se convierte en:
$E/t =$ ————

$$\sigma = 1.35 \times 10^{-8} \frac{\text{cal}}{\text{m}^2\text{-seg-K}^{\circ 4}}.$$

cuando E se mide en ..... (*unidad*).

* * * * *

$e\sigma AT^4$; cal (no se ocupe en memorizar estas constantes, pues cuando las necesite las encontrará en su cubierta de respuestas).

57. Panel 15. Lea el problema 8. La ecuación de Stefan-Boltzmann para la cantidad de energía que radia *cualquier* superficie es .....

= ....., donde la *cantidad* de energía radiada está representada por la razón ..... La cantidad de energía radiada se mide en cal por ..... o en joules por .....

* * * * *

$E/t = e\sigma AT^4$; E/t; seg; seg.

58. Panel 15, problema 8. En este problema, e = ... (*número*). Midamos la cantidad de radiación en cal/seg; para hacerlo, usemos σ = ... (vea la cubierta de respuestas).

* * * * *

1; 1.35×10^{-8} $\dfrac{\text{cal}}{\text{m}^2\text{-seg-K}^{\circ 4}}$.

59. Panel 15, problema 8.

$e = 1$

$\sigma = 1.35 \times 10^{-8}$

A = ... m^2

T = ... °K.

E/t = ... cal/seg.

* * * * *

3×10^{-2}

$127°\text{C} + 273 = 400°\text{K}$

$E/t = (1)\ (1.35 \times 10^{-8})\ (3 \times 10^{-2})\ (400)^4$

$= (1.35 \times 10^{-8})\,(3 \times 10^{-2})\,(256 \times 10^8)$

$= 10.37$ cal/seg.

60. Panel 15, problema 8 parte (*b*).

$E/t = 10.37$ cal/seg

$t = 30$ min = ... seg

E = ... cal.

* * * * *

1800; E/1800 seg = 10.37 cal/seg

$E = (10.37 \text{ cal/seg})\,(1800 \text{ seg}) = 18{,}666$ cal.

61. *Repaso:* Una plancha de hielo de 5 cm de espesor cubre un estanque; la temperatura de la cara superior del hielo es de —10°C y la superficie inferior es de 0°C. ¿Qué cantidad de calor se conduce a

través de cada cm^2 del hielo en 10 seg. (Vea la conductivilidad térmica del hielo en el panel 20.)

* * * * *

$$Q = k \frac{At(T_2 - T_1)}{d}$$

$$A = 1 \text{ cm}^2$$

$$k = 0.00026 \frac{\text{cal/seg}}{\text{cm}^2 \times \frac{\text{C°}}{\text{cm}}}$$

$$Q = (0.00026) \frac{(1)\ (10)\ [0-(-10)]}{5} = 0.0052 \text{ cal.}$$

62. *Repaso:* En la conducción, se transfiere (n) de un lugar a otro (solamente la energía/solamente la materia/la materia y la energía). En la radiación, se transfiere (n) de un lugar a otro (solamente la energía/solamente la materia/la materia y la energía). En la convección, se transfiere (n) de un lugar a otro (solamente la energía/solamente la materia/la materia y la energía). El proceso de transferencia de calor en el vacío es el de (conducción/convección/radiación). Lo más probable es que en los sólidos la transferencia de calor sea por (radiación/conducción/convección). Los gases en general son (buenos/malos) conductores de calor; en un gas, el proceso de transferencia de calor más efectivo es probable que sea por (conducción/convección).

* * * * *

solamente la energía; solamente la energía; la materia y la energía; radiación; conducción; malos; convección.

63. *Repaso:* Todas las superficies radian continuamente ondas .... La cantidad de emisión depende del ..... y la ..... de la superficie. Estas ondas se propagan en el vacío con la rapidez de la .....

* * * * *

electromagnéticas; área; temperatura; luz.

64. *Repaso:* Las brisas frescas soplan del mar durante el día y de tierra al mar en la noche, a causa de la (radiación/convección/conducción).

* * * * *

convección.

65. *Repaso:* Una substancia con (alta/baja) conductividad térmica es un buen aislante del calor. Los objetos negros y ásperos son mejores

(absorbentes/reflectores) de energía radiante que los objetos muy pulidos. La suma de los poderes de absorción y de reflexión de una substancia es (uno/cero/e).

* * * * *

baja; absorbentes; uno.

66. *Repaso:* En general, el único método de transferencia de calor que se propaga efectivamente en el vacío es el de ..... El método más efectivo de transferencia de calor en los sólidos metálicos es el de ..... El método más efectivo de transferencia de calor en los fluidos es el de .....

* * * * *

radiación; conducción; convección.

Sección 5. Máquinas térmicas. La máquina térmica de Carnot. Eficiencia térmica.

1. La máquina térmica es un dispositivo al que se suministra energía en forma de calor mediante una fuente a alta temperatura; parte de esta energía la transforma en trabajo mecánico (como por ejemplo, un gas que se expande contra un pistón móvil) y el resto la desecha a menor temperatura. Si Q_1 es el calor que se suministra a la máquina y Q_2 la cantidad desechada después de haber realizado el trabajo, W, entonces $W =$ ..... (en función de Q_1 y Q_2).

* * * * *

$Q_1 - Q_2$.

2. Refiérase al panel 22. La figura 1 es un diagrama de flujo de cualquier máquina térmica. En toda máquina térmica es esencial que el recipiente esté a (mayor/menor) temperatura que la fuente.

* * * * *

menor.

3. En la máquina térmica particular que llamamos máquina de vapor, una caldera suministra el vapor a la máquina y ésta lo pasa hacia un condensador. En la máquina de vapor, el condensador funciona como ..... y la caldera funciona como .....

* * * * *

recipiente; fuente.

4. En una máquina de vapor, el vapor de la caldera se enfría al expandirse contra un pistón y realiza un .....

* * * * *

trabajo.

5. Panel 22, Fig. 1. En la máquina térmica, parte del calor que suministra la fuente se convierte en .....; el resto del calor lo expele la máquina en el ..... a (mayor/menor) temperatura que la que tenía en la fuente.

* * * * *

trabajo; recipiente; menor.

6. Panel 22, Fig. 1. La eficiencia *térmica* de una máquina térmica es la razón del calor que se convierte en trabajo al calor que suministra la fuente a la máquina. Usando los símbolos del diagrama de flujo, la eficiencia *térmica* de una máquina térmica es $E =$ ..... (en función de Q_1 y Q_2). Puesto que $W =$ ..... (en función de Q_1 y Q_2). $E =$ ..... (en función de Q_1 y Q_2).

* * * * *

$\frac{W}{Q_1}$; $Q_1 - Q_2$; $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$.

7. Panel 22, Fig. 1. La ecuación de la eficiencia ..... de una máquina térmica se refiere solamente a las transferencias de energía: calor y trabajo; *no* se refiere a los dispositivos particulares de cualquier máquina específica que conviertan calor en trabajo; esto significa que (incluye/no incluye) pérdidas debidas a fricción, peso de las partes, etc. del equipo determinado que se emplee, y supone que la energía interna de la máquina (cambia/no cambia).

* * * * *

térmica; no incluye; no cambia.

8. Panel 22, Fig. 1.

$$E = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{Q_1}{Q_1} - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Puesto que $Q_1/Q_1 = 1$, $E =$ .....
Esta es una ecuación para la .... de (una máquina de vapor únicamente/cualquier máquina térmica).

* * * * *

$1 - Q_2/Q_1$; eficiencia térmica; cualquier máquina térmica.

9. $E = 1 - Q_2/Q_1$. La eficacia de una máquina térmica depende únicamente de los valores de Q_1 y Q_2; aumenta a medida que (aumenta/disminuye) el calor que proporciona la fuente, o a medida que aumenta/disminuye) el calor expulsado al recipiente.

* * * * *

aumenta; disminuye.

10. $E = 1 - Q_2/Q_1$. Es posible hacer que la eficiencia de una máquina térmica sea 1 (ó 100%) solamente que pudiera diseñarse una máquina que expulsara al recipiente (todo el/parte del/ningún) calor suministrado por la fuente.

* * * * *

ningún.

11. Carnot examinó la posibilidad de una máquina térmica ideal que operara sin fricción u otras pérdidas mecánicas. *No existe realmente tal máquina;* la *máquina de Carnot* es una *construcción teórica* útil para analizar máquinas reales. El motor de combustión interna de los automóviles (es/no es) una máquina Carnot.

* * * * *

no es (porque existe realmente, y la máquina de Carnot no).

12. La máquina de Carnot opera imaginariamente en un ciclo *cerrado;* es decir, después de operar en una serie prescrita de cambios, el estado final del sistema vuelve a ser el inicial. Suponga que un sistema sufre una serie de procesos que impliquen la realización de un trabajo, absorber y expulsar calor, etc., después de la cual su energía interna es mayor que la inicial; esto (es/no es) un ciclo cerrado. Suponga que un sistema sufre una serie de cambios que impliquen ejecutar un trabajo y absorber y expulsar calor durante su ejecución, etc. y al final de esta serie de cambios el sistema tiene la misma energía interna inicial. Si este sistema es una máquina, entonces (está/no está) trabajando en un ciclo cerrado.

* * * * *

no es; está.

13. Panel 22. La figura 2 representa un ciclo completo de la máquina de Carnot, a menudo conocido como ciclo de Carnot. El estado inicial del gas del cilindro es: P_1, volumen V_1 y temperatura T_1. Al final del ciclo Carnot el estado del gas (se/no/se) puede describir con los mismos valores de P, V y T por que es un ciclo .....

* * * * *

se; cerrado.

14. Panel 22. La Fig. 3 es un diagrama pV del ciclo Carnot mostrado en la Fig. 2; las *curvas* de trazos (- - - - - - - -) son isotermas, es decir, describen el comportamiento de un gas confinado mientras su presión y volumen (varían/permanecen constantes) y mientras su temperatura (varía/permanece constante).

* * * * *

varían; permanece constante.

15. Panel 22, Figs. 2 y 3. En la etapa (*a*) del ciclo de Carnot se le permite al calor entrar hacia el gas y éste se expande a la temperatura constante T_1. Esta parte del ciclo queda representada en la gráfica pV por la trayectoria (*ad/abc/ab/bc/dc*).

* * * * *

ab.

16. Panel 22, Figs. 2 y 3. La expansión del gas de V_1 a V_2 es (adiabática/isotérmica) porque [1) el calor no puede entrar en el sistema/ 2) la temperatura del sistema es constante].

* * * * *

isotérmica; (2).

17. Panel 22, Figs. 2 y 3. En seguida se retira de la fuente el cilindro y se coloca sobre un aislante perfecto de calor; esto significa que [1) el calor entra en el sistema/2) el calor sale del sistema/3) el proceso es adiabático]. Mientras está sobre el aislante, el gas se (expande/contrae) de V_2 a V_3. Esta etapa del ciclo de Carnot está representada en la gráfica pV por la trayectoria (*ab/ad/bc/cb/dc/cd*).

* * * * *

(3); expande; *bc*.

18. Panel 22, Figs. 2 y 3. En la etapa (*b*) del ciclo de Carnot el gas sufre una expansión (isotérmica/adiabática); realiza un trabajo mientras (entra/no entra) calor al sistema y como resultado, la temperatura del gas (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

adiabática; no entra; disminuye.

19. Panel 22, Figs. 2 y 3. En las primeras dos etapas (*a* y *b* en la figura 2) (el gas realiza un trabajo/se realiza un trabajo en el gas).

* * * * *

el gas realiza un trabajo.

20. Panel 22, Figs. 2 y 3. El cilindro se retira del aislante al bajar su temperatura a T_2 y se coloca sobre un recipiente a la misma temperatura. En esta etapa el gas se (expande/contrae) de V_3 a V_4 y (realiza un trabajo/se realiza un trabajo en él). En el recipiente, la máquina (absorbe/expulsa) calor.

* * * * *

contrae; se realiza un trabajo en él; expulsa.

21. Panel 22, Figs. 2 y 3. Esta etapa (*c*) del ciclo es una compresión (isotérmica/adiabática) y está representada en el diagrama *pV* por la trayectoria (*ab/ba/ad/da/bc/dc/cd*).

* * * * *

isotérmica; *cd* (observe cómo sigue esta trayectoria la línea de trazos o isoterma marcada con T_2).

22. Panel 22, Figs. 2 y 3. En la última etapa (*d*) del ciclo de Carnot se coloca el cilindro sobre (un recipiente/una fuente/un aislante); esto evita que (se realice un trabajo en el gas/el calor entre al gas o se escape de él). En este paso hay una compresión (isotérmica/adiabática) de V_4 a V_1; esta contracción está representada en el diagrama *pV* por la trayectoria (*ab/ba/da/ad/bc/cd/dc*).

* * * * *

un aislante; el calor entre al gas o se escape de él; adiabática; *da*.

23. Panel 22, Fig. 2. Durante la etapa (*d*) del ciclo se realiza un trabajo sobre el gas mientras el calor (escapa/no escapa) del gas; esto significa que su temperatura (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

no escapa; aumenta.

24. Panel 22, Figs. 2 y 3. Al final de la etapa (*d*) de la Fig. 2 el gas regresa a su estado inicial, lo que significa que su temperatura es nuevamente (T_1/T_2).

* * * * *

T_1.

25. Panel 22, Figs. 2 y 3. En las dos primeras etapas del ciclo de Carnot (el gas realiza un trabajo/se realiza un trabajo sobre el gas); en las dos últimas etapas (el gas realiza un trabajo/se realiza un trabajo sobre el gas). El área que limitan la trayectoria *abc* y el eje horizontal de la gráfica representa (el trabajo que realizó el gas/el trabajo que se realizó en el gas) durante el ciclo Carnot; el área que limitan la trayectoria

cda y el eje horizontal representa (el trabajo que realizó el gas/ el trabajo que se realizó en el gas) durante el ciclo.
* * * * *

el gas realiza un trabajo; se realiza un trabajo sobre el gas; el trabajo que realizó el gas; el trabajo que se realizó en el gas.

26. Panel 22, Fig. 3. La diferencia entre el trabajo que realizó el gas y el trabajo que se realizó sobre él es el trabajo *neto* que realizó la máquina. El trabajo neto de la máquina está representado en la gráfica pV por el ..... de *abcd;* el trabajo total ejecutado por la máquina también es (la suma/la diferencia/el producto/la razón) de Q_1 y Q_2.
* * * * *

área; diferencia.

27. Panel 22, Figs. 2 y 3. El trabajo (W) que ejecutó la máquina de Carnot está dado por la ecuación $W =$ ....., en función de Q_1 y Q_2. La eficiencia térmica de cualquier máquina térmica es, en función de W y Q_1, $E =$ .....; en la máquina de Carnot es, en función de Q_1 y Q_2, $E =$ .....
* * * * *

$Q_1 - Q_2$; $\dfrac{W}{Q_1}$; $1 - \dfrac{Q_2}{Q_1}$ ó $\dfrac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$.

28. $E = 1 - Q_2/Q_1$. Se puede demostrar por métodos que están fuera del alcance de este libro que el calor suministrado a una máquina Carnot y al calor expulsado por ella son *directamente proporcionales* a las *temperaturas Kelvin* a que se transfieren, a la máquina y desde ella. Usando los símbolos del panel 22, Fig. 2: $Q_2/Q_1 =$ .....
* * * * *

T_2/T_1.

29. 1) $E = 1 - Q_2/Q_1$

2) Puesto que $Q_2/Q_1 = T_2/T_1$, (1) se convierte en:

$E =$ ..... (en función de T_2 y T_1), donde T_2 es la temperatura a la que el calor que (suministra/se expulsa a) (la fuente/el recipiente).
* * * * *

$1 - T_2/T_1$; se expulsa a ; el recipiente.

30. La eficiencia térmica de una máquina de Carnot que opera entre 500°K y 300°K es .....
* * * * *

$E = 1 - T_2/T_1 = 1 - 300/500 = 2/5$ ó 0.4.

ó 40% (en general, una eficiencia en forma fraccionaria o decimal se puede expresar como porcentaje).

31. Todas las máquinas térmicas reales consumen energía por la fricción y por lo tanto su eficiencia es (mayor que/menor que/igual a) la eficiencia térmica de una máquina de Carnot que opere entre las mismas temperaturas.

* * * * *

menor que.

32. $E = 1 - T_2/T_1$. Nuestro análisis de la máquina de Carnot indica que la eficiencia térmica de una máquina de vapor se puede aumentar si la temperatura de la caldera se (aumenta/disminuye) y la temperatura de expulsión se (aumenta/disminuye).

* * * * *

aumenta; disminuye.

33. $E = 1 - T_2/T_1$. La eficiencia de una máquina térmica puede hacerse 1 ó 100% únicamente si se reduce la temperatura de (la fuente/el recipiente) a ..... °K.

* * * * *

el recipiente; 0 o cero.

34. La experiencia indica que una característica fundamental de todos los procesos de enfriamiento es que a medida que baja la temperatura aumenta la dificultad de bajarla aún más; esto sugiere un principio, conocido como *tercera ley de la termodinámica,* la cual establece que es imposible reducir la temperatura de cualquier sistema hasta el cero absoluto en un número finito de operaciones. Para que una máquina térmica alcance una eficiencia del 100% (es decir, $E = 1$), es necesario que el recipiente se mantenga a una temperatura de (0°C/0°K). (Es/no es) posible que una máquina térmica opere con un 100% de eficiencia.

* * * * *

0°K; no es (usted puede sorprenderse si no comprendió la segunda ley; posteriormente se demostrará que no es así. Históricamente las leyes se dedujeron en un orden diferente al de este libro).

35. En todas las máquinas térmicas $E = W/Q_1 = 1 - T_1/T_2$. $E = 1$, o bien; la eficiencia térmica de la máquina es 100% solamente si (todo/parte de/nada de) Q_1 se transforma en trabajo (W) y (todo/parte de/nada de) Q_1 es expulsado a un recipiente en forma de calor (Q_2). Puesto que hemos visto que (se/no se) puede reducir T_2 a 0°K en un

número finito de operaciones, *E* (puede/no puede nunca) ser 100% y es imposible diseñar una máquina que convierta en trabajo (todo el/parte del/nada del) calor que toma de una fuente.

* * * * *

todo; nada de; no se; no puede nunca; todo el.

36. El hecho de que no se pueda diseñar una máquina térmica con 100% de eficiencia térmica, significa que (todo el/parte del/nada del) calor suministrado a la máquina debe regresarse al recipiente.

* * * * *

parte del.

37. Es imposible diseñar una máquina térmica que convierta (totalmente/parcialmente) en trabajo el calor de una fuente, sin expulsar calor a un recipiente; este es un enunciado de la *segunda* ley de la termodinámica. Suponga que se suministra 1 joule de calor a una máquina térmica; la (primera/segunda/tercera) ley de termodinámica afirma que es imposible que la temperatura del recipiente en que descarga calor la máquina sea cero absoluto. La (primera/segunda/tercera) ley afirma que el trabajo que ejecuta la máquina debe ser menor de 1 joule.

* * * * *

totalmente; tercera; segunda.

38. Otra formulación de la segunda ley de la termodinámica es: Es imposible un proceso por medio del cual se ejecute un trabajo extrayendo calor de una fuente y expulsándolo a un recipiente a la misma temperatura. Esto significa que en toda máquina que transforme calor en trabajo, su fuente y su recipiente se deben mantener a (la misma temperatura/diferentes temperaturas).

* * * * *

diferentes temperaturas.

39. Un significado práctico de la segunda ley es que *una cantidad determinada de calor no se puede transformar completamente en trabajo.* La conversión de *trabajo en calor* no está limitada en esta forma fundamental; por ejemplo, el trabajo que realiza la fricción se convierte completamente en calor. Mil calorías de energía calorífica (pueden/no pueden) hacer 1000 cal de trabajo; mil cal de trabajo (pueden/no pueden) convertirse en 1000 cal de calor.

* * * * *

no pueden; pueden.

40. *Repaso:* La máquina teórica de Carnot tiene la máxima eficiencia térmica de conversión de calor en trabajo que cualquier máquina térmica que opere entre dos temperaturas dadas. La máquina de Carnot (explica/no explica) los efectos de la fricción y de otras fuerzas que desperdicien energía; por lo tanto, su eficiencia máxima es (igual a/menor que/mayor que) la eficiencia máxima de cualquier máquina térmica real.

* * * * *

no explica; mayor que.

41. *Repaso:* La ..... ley de termodinámica afirma que el calor que entra a un sistema se transforma completamente en el trabajo que realiza el sistema y en un aumento de la energía interna del mismo. La ..... ley de la termodinámica afirma que en un número finito de operaciones no se puede alcanzar la temperatura de cero absoluto. La ..... ley de la termodinámica afirma que no se puede diseñar una máquina térmica que convierta en trabajo *todo* el calor que toma de su fuente.

* * * * *

primera; tercera; segunda.

42. *Repaso:* La eficiencia térmica de la máquina Carnot se determina únicamente por las temperaturas (Celsius/Kelvin) entre la fuente y el recipiente en las que opera. Calcule la eficiencia máxima de una máquina térmica que opera entre una caldera a 427° C y un recipiente a 27° C.

* * * * *

Kelvin; $E = 1 - T_2/T_1$

$T_2 = 27° \text{ C} + 273 = 300° \text{ K}$

$T_1 = 427° \text{ C} + 273 = 700° \text{ K}$

$E = 1 - 300/700 = 1 - 3/7 = 4/7 \approx 57\ \%$.

43. *Repaso:* La segunda ley de la termodinámica pone un límite fundamental en la cantidad de (trabajo/calor) que puede transformarse en (trabajo/calor). *No* pone límite a la cantidad de (trabajo/calor) que puede convertirse en (trabajo/calor).

* * * * *

calor; trabajo; trabajo; calor.

44. *Repaso:* Una forma optativa de la (primera/segunda/tercera) ley de la termodinámica afirma la ***imposibilidad*** de un proceso que con-

sista en ejecutar un trabajo extrayendo calor de una fuente y expulsándolo a un recipiente a (menor/la misma) temperatura.

* * * * *

segunda; la misma.

Sección 6. La entropía.

Nota: La sección 6 constituye una introducción elemental a un tema muy importante pero complejo, a saber, el orden y el desorden en la naturaleza y la *entropía* que está relacionada con ellos. Un estudio cuantitativo más detallado de este tema implica un análisis matemático fuera del alcance de este libro. Sin embargo, el tema es importante no sólo para el físico sino también para todo aquél que se interese en la filosofía y en la historia de la ciencia. Por esta razón damos aquí una corta bibliografía sobre el tema para el lector que desee profundizar en él:

George Ganow, *One, Two, Three, Infinity,* Viking Press, Nueva York, 1948.

Norbert Weiner, *The Human Use of Human Beings,* Houghton Mifflin, Boston, 1950.

Erwin Schroedinger, *What Is Life,* Macmillan, Nueva York, 1946.

1. Ciertos procesos de la naturaleza ocurren espontáneamente (es decir, por sí solos), mientras el inverso de estos procesos ocurre solamente cuando una influencia externa (como el trabajo que realizan fuerzas externas) actúa sobre el sistema. Cuando se abre una pequeña cápsula de sulfuro de hidrógeno en un rincón de una habitación, el olor a huevo podrido se percibe pocos segundos después en *toda* la habitación; esto ocurre aun en *completa ausencia* de corrientes que ayuden al sulfuro de hidrógeno a mezclarse con el aire de la habitación. La difusión de un gas a través de otro (es/no es) un proceso espontáneo; para separar del aire el sulfuro de hidrógeno y regresarlo a la cápsula se requiere el uso de equipo elaborado y probablemente muchas horas de trabajo. En una mezcla de gases, la separación de las moléculas de uno de ellos (es/no es) un proceso espontáneo.

* * * * *

es; no es.

2. La compresión de un gas a un volumen menor (requiere/no requiere) trabajo de fuerzas externas. La expansión de un gas en un volumen mayor, siempre que se disponga de él (requiere/no requiere) el trabajo de fuerzas externas. La (compresión/expansión) de un gas

ocurre espontáneamente; la (compresión/expansión) de un gas siempre requiere de agentes externos.

* * * * *

requiere; no requiere; expansión; compresión.

3. Cuando se ponen en contacto un cuerpo *A* con otro *B* a menor temperatura que *A*, el calor fluye espontáneamente (de *B* a *A*/de *A* a *B*/en ambas direcciones).

* * * * *

de *A* a *B*.

4. Para extraer calor de una fuente y descargarlo en un recipiente a mayor temperatura que la de la fuente se requiere el trabajo de una máquina inversora de calor (llamada refrigerador). En el cuadro anterior, la conducción de calor de *B* a *A* (es/no es) un proceso espontáneo.

* * * * *

no es.

5. Una forma de describir estas diferencias entre los procesos que ocurren espontáneamente y los que no lo son, es decir, que todos los sistemas *aislados* (es decir, sistemas libres de influencias externas) tienden hacia condiciones de *desorden cada vez mayor*. Entonces, debemos suponer que el sulfuro de hidrógeno confinado en su cápsula y por lo tanto separado del aire que hay en el resto de la habitación representa una condición de (mayor/menor) desorden que la del sulfuro de hidrógeno mezclado con el aire. Cuando el sulfuro de hidrógeno se difunde en el aire, está tendiendo hacia una condición de desorden (creciente/decreciente).

* * * * *

menor; creciente.

6. La separación de moléculas de oxígeno de moléculas de otros gases, como el nitrógeno, que constituye el aire, *no* ocurre espontáneamente; esto se debe a que la mezcla de oxígeno con los otros gases representa una condición de (mayor/menor) desorden que la de su separación de ellos.

* * * * *

mayor.

7. Cuando se comprime un gas a temperatura constante, tiene que efectuarse un trabajo por medio de fuerzas externas y se tienen que tomar medidas para extraerle calor. El gas que se confine a un volumen

menor en esta forma, debe representar una condición de (mayor/menor) desorden que el gas confinado en un volumen mayor.

* * * * *

menor.

8. Basándose en el principio que afirma que todos los sistemas aislados tienden a condiciones de desorden (creciente/decreciente), la expansibilidad ilimitada de un gas es atribuible al hecho de que a medida que aumenta su volumen, también aumenta su .....

* * * * *

creciente; desorden

9. Sabemos que las moléculas de una substancia sólida guardan entre sí una relación espacial definida y relativamente fija; en el estado líquido, estas moléculas tienen mayor movilidad y a pesar de que un mismo grupo de moléculas está usualmente cerca de otro, ambos pueden moverse y cambiar de posición relativa; esto sugiere que la condición de una substancia en estado líquido es (más/menos) desordenada que la de una substancia en estado sólido.

* * * * *

más.

10. Las moléculas de una substancia en estado gaseoso no tienen una relación espacial mutua permanente. Las moléculas del agua a 100° C exhiben (más/menos) desorden que las de vapor a la misma temperatura; las moléculas de hielo a 0°C exhiben (más/menos) desorden que las del agua a igual temperatura.

* * * * *

menos; menos.

11. El concepto de "desorden" es científicamente útil en el grado de habilidad que tengamos para aplicarlo a problemas específicos; el uso común de esta palabra es de una vaguedad que deja mucho que desear en cuanto a precisión y aplicabilidad a problemas cuantitativos. La noción de desorden se puede asociar cuantitativamente con la noción matemática de *probabilidad.* Suponga que un evento de cierta clase pueda ocurrir en 4 formas igualmente posibles; entonces, la *probabilidad* de que el evento ocurra en cualquiera de estas formas es la fracción .....

* * * * *

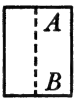
1/4.

12. Refiérase al panel 23. En la Fig. 1 hay una sola molécula (*A*) confinada en un recipiente. Una línea imaginaria divide exactamente a la mitad el recipiente. En cualquier instante dado la molécula puede estar en el lado izquierdo o en el lado derecho del recipiente, pero no en ambos. La probabilidad de que esté en el lado izquierdo en un instante dado es la fracción .....

* * * * *

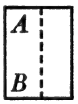
1/2.

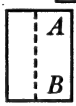
13. Panel 23. En la Fig. 2, dos moléculas, *A* y *B*, se mueven rápidamente en el recipiente. En la figura, *A* está en la mitad izquierda y *B* en la mitad derecha pero en cualquier momento posterior dado pueden estar (1) ambas en la mitad izquierda

, (2) ambas en la mitad derecha 

, (3) *B* en la izquierda y *A* en la derecha

ó (4) como están en la Fig. 2. En otras palabras, en cualquier instante dado hay ..... formas en que se pueden situar 2 moléculas en dos partes de un recipiente.

La probabilidad de encontrarse en la posición 

es .....; la probabilidad de encontrarse en la posición 

es .....

* * * * *

4; 1/4; 1/4.

14. Panel 23, Fig. 2. La probabilidad de encontrar una molécula en el lado izquierdo del recipiente y una en el lado derecho se encuentra como sigue: de las cuatro formas en que se pueden distribuir las moléculas, hay *dos:*

y

, en las que una molécula está a la izquierda y otra a la derecha. Por lo tanto, la probabilidad de tal disposición es la fracción .....

* * * * *

2/4 ó 1/2.

15. Panel 23, Fig. 2. Note que la probabilidad que las moléculas estén distribuidas igualmente en las mitades del recipiente es (igual a/mayor que/menor que) la probabilidad de que ambas estén en la mitad derecha.

* * * * *

mayor que.

16. Panel 23, Fig. 2. Observe también que en este caso particular, si ambas moléculas estuvieran en el lado derecho, el gas de que forman parte estaría, en efecto, ocupando sólo la mitad del volumen del recipiente. Conforme a las nociones de desorden que desarrollamos previamente en esta sección, esta situación representaría un estado de (mayor/menor) desorden que la situación en la que hubiera una molécula en una mitad y la otra en la otra mitad, donde, en efecto, el gas ocupa todo el volumen del recipiente. En este caso particular, la distribución con mayor probabilidad es el estado de (mayor/menor) desorden.

* * * * *

menor; mayor.

17. Panel 23. En la Fig. 3 hay cuatro moléculas confinadas en el recipiente; las formas en que pueden distribuirse en ambas mitades del recipiente están enlistadas en la Fig. 4. El número total de formas en que puede ocurrir esta distribución es ..... El número de formas en que las cuatro moléculas pueden estar en la mitad derecha del recipiente es ..... La probabilidad de que las cuatro moléculas estén en el lado derecho en cualquier instante es .....

* * * * *

16; 1; 1/16.

18. Panel 23, Figs. 1 a 3. A medida que el número de moléculas aumenta de 1 a 4. La probabilidad de que todas las moléculas estén en la mitad derecha del recipiente en un instante dado (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

disminuye { para 1 molécula es 1/2
para 2 moléculas es 1/4
para 4 moléculas es 1/16.

19. En la teoría matemática de la probabilidad se puede demostrar que, en general, si hay N moléculas en un recipiente, la probabilidad de que en cualquier instante todas estén confinadas en una de las mitades del recipiente está dada por la expresión $(1/2)^N$. Si hay 3 moléculas confinadas en un recipiente, la probabilidad de que todas estén en la mitad derecha en un instante dado es de ..... (*número*).

* * * * *

$(1/2)^3 = 1/8$.

20. Panel 23. Vea la Fig. 4. El número de formas en que pueden distribuirse *igualmente* las 4 moléculas del gas de la Fig. 3 es ..... La

probabilidad de que en un instante dado las moléculas de este gas estén igualmente distribuidas en ambas mitades es de .....

* * * * *

6; 6/16 = 3/8.

21. Panel 23, Fig. 4. El número de formas en que hay más moléculas a la derecha que a la izquierda es ..... La probabilidad de tal disposición en un instante dado es .....

* * * * *

5; 5/16.

22. Panel 23, Figs. 3 y 4. De las siguientes disposiciones de las moléculas de este gas, la más probable en un instante dado es [(1) todas a la derecha/(2) todas a la izquierda/(3) más en un lado que en el otro/(4) dos en un lado y dos en el otro].

* * * * *

(4).

23. Cuando todas las moléculas de un gas ocupan la mitad de un recipiente, el volumen efectivo del gas es la mitad del volumen del recipiente. Cuando las moléculas están distribuidas en ambas mitades, el volumen efectivo del gas es el mismo del recipiente. Con anterioridad describimos el volumen expandido como el estado de (mayor/menor) desorden; acabamos de ver que también es el estado (más/menos) probable.

* * * * *

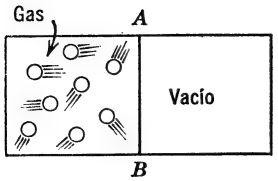
mayor; más.

24. Podemos usar la probabilidad de un estado dado como medida de su desorden. Anteriormente explicamos el hecho de que ciertos procesos ocurren espontáneamente mientras otros no, por el principio de que todos los sistemas aislados tienden a condiciones de creciente desorden. Ahora enunciamos el mismo principio en función de la probabilidad. Todos los sistemas aislados tienden a estados de (creciente/decreciente) probabilidad.

* * * * *

creciente.

25. Este recipiente está dividido a la mitad por la división móvil *AB*. Al quitar súbitamente la división, el volumen de que dispone el gas se dobla repentinamente. El gas se expande espontáneamente para ocupar el mayor volumen debido a que la ..... de que un gas



ocupe en un instante dado el volumen total disponible es mayor que la de que el gas ocupe solamente la mitad del volumen disponible.

* * * * *

probabilidad.

26. Usted se sorprenderá de por qué *nunca* se observa que todas las moléculas de un gas ocupen sólo una mitad o la otra de un recipiente. En los gases imaginarios representados en las Figs. 1 a 3 del panel 23, las probabilidades de que esto suceda son de ½, ¼ y 1/16 para gases que tienen respectivamente 1, 2 y 4 moléculas. Sin embargo, la probabilidad de esta clase particular de compresión espontánea para N moléculas está dada por la expresión ..... En un gas con 100 moléculas, la probabilidad de que todas ellas ocupen solamente la mitad del recipiente, en un instante dado, es .....

* * * * *

$\left(\frac{1}{2}\right)^N$; $\left(\frac{1}{2}\right)^{100} = \frac{1}{2^{100}}$ (que es aproximadamente 10^{-30}).

27. En la realidad, es más probable que el número de moléculas en cualquier volumen observable sea mucho mayor que 100 moléculas. En un recipiente del tamaño de este libro habrá más de 10^{19} moléculas de un gas a TPN; esto significa que la probabilidad de que todas se agrupen espontáneamente en una mitad del recipiente es $\frac{1}{2^{(10^{19})}}$. Esta es una probabilidad muy (grande/pequeña).

* * * * *

pequeña.

28. Entonces, *teóricamente* (es/no es) absolutamente imposible que todas las moléculas de un gas se agrupen espontáneamente en un rincón de su recipiente y dejen vacío el resto. Matemáticamente, tal disposición puede demostrarse que es (muy probable/grandemente improbable).

* * * * *

no es; grandemente improbable.

29. Otra razón de por qué no se observan gases en un estado tan improbable es que tal estado, si ocurriera, duraría solamente una fracción muy pequeña de un segundo. Aunque ocurriera tal estado, es (probable/improbable) que lo detectáramos.

* * * * *

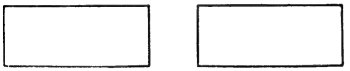
improbable.

30. Podemos aplicar el mismo análisis a la difusión espontánea de los gases y a la no ocurrencia de los procesos opuestos, a saber, la *separación* espontánea de gases. Refiérase al panel 24; la Fig. 1 representa dos bolas en reposo en un recipiente con mucho espacio para que se muevan si se agita el recipiente. Cuando se agita el recipiente y las bolas se mueven al azar, están en libertad de cambiar de posiciones. Después de la agitación hay dos posibles disposiciones. Después de la agitación, la probabilidad de que las bolas se coloquen en la forma en que estaban es la fracción: .....

* * * * *

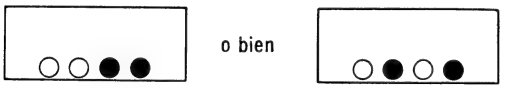
1/2.

31. Panel 24. Vea la Fig. 2. Aquí tenemos dos bolas negras a la izquierda y dos blancas a la derecha El sistema se agita y después se deja en reposo.



La disposición de las bolas resultante puede ser cualquiera de los 6 órdenes de bolas negras y blancas; en la figura se muestran 4 de éstos. Indique las otras dos posibilidades poniendo 4 bolas en cada cuadro.

* * * * *



32. Panel 24, Fig. 2. Después de agitarlas, la probabilidad de que la disposición de las bolas sea dos negras a la izquierda y dos blancas a la derecha es la fracción ..... Observe que la probabilidad de que las bolas regresen a su posición original (aumenta/disminuye/permanece igual) a medida que aumenta el número de bolas.

* * * * *

1/6; disminuye (era de ½ con dos bolas).

33. Panel 24. En la Fig. 3 comenzamos con 6 bolas, 3 negras a la izquierda y 3 blancas a la derecha; en seguida se les agita; cuando

finalmente quedan en reposo pueden quedar en cualquiera de los estados mostrados en la Fig. 4. La probabilidad de que queden en su estado original es la fracción .....

* * * * *

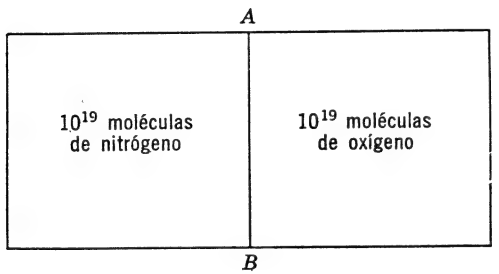
1/20 (hay 20 disposiciones posibles).

34. Panel 24. A medida que aumenta el número de bolas, la probabilidad de que queden dispuestas como estaban originalmente (aumenta/disminuye) rápidamente.

* * * * *

disminuye.

35.



En cualquier momento después de retirar la división *AB*, es (muy probable/altamente improbable) que las moléculas de los dos gases se dispongan como en esta figura.

* * * * *

altamente improbable (un experimento interesante que puede usted hacer es disponer 1 juego de napies en tal forma que todos los negros queden en la parte superior de una pila y todos los rojos en la mitad inferior de la pila; en seguida barájelos; verá que la disposición original desaparece rápidamente y que aunque los barajee un tiempo razonable, no volverán a su disposición original).

36. Podemos describir la mezcla espontánea de gases como un ejemplo de la tendencia de un sistema aislado a estados (más/menos) probables.

* * * * *

más.

37. Una medida cuantitativa del desorden de un sistema (es decir, medir la probabilidad de su existencia en un estado dado) implicaría una tediosa aritmética. Considere, por ejemplo, el trabajo que implica evaluar la probabilidad de que se agrupen espontáneamente 6×10^{23}

moléculas en una mitad del volumen disponible de su recipiente. Esta probabilidad es $(\frac{1}{2})^N = (\frac{1}{2})$ con una exponente .....
Por fortuna, rara vez es necesario hacer esto; los físicos se interesan más bien en el *cambio* que se opera en el desorden de un sistema como resultado de otros cambios en él. A este respecto, el desorden es una propiedad de un sistema muy semejante a su energía interna. Recuerde la ecuación de la primera ley de la termodinámica; nos permite calcular (la energía interna/cambios en la energía interna) de un sistema.

* * * * *

6×10^{23} (éste es el exponente); cambios en la energía interna (es decir, ΔU en la ecuación $\Delta U = Q - W$).

38. El desorden de un sistema es su *entropía* y usamos la letra S para representarla. Cualquier sistema aislado tiende a estados de (mayor/menor) entropía. Usamos ΔS para representar cualquier cambio de entropía en un sistema. Estamos especialmente interesados en medir $(S/\Delta S)$.

* * * * *

mayor; ΔS.

39. Ahora podemos enunciar la segunda ley de la termodinámica en función de la entropía. Un sistema *aislado* conteniendo un gran número de partículas tiende a un estado de (máxima/mínima) entropía; es decir, tiende a hacerse tan (ordenado/desordenado) como sea posible.

* * * * *

máxima; desordenado.

40. Se ha deducido una ecuación para el cambio de entropía, en función de las propiedades *observables,* del *calor suministrado* al sistema, (Q), y de la *temperatura Kelvin* (T) a la que ocurre este cambio: $\Delta S = Q/T$. Cuando se suministra calor al sistema, el valor de Q es (positivo/negativo); cuando escapa calor del sistema, Q es (positivo/negativo). Si los cambios se operan a una temperatura de 30°C, el valor de T empleado para calcular el cambio de entropía es .....

* * * * *

positivo; negativo; 303°K.

41. $\Delta S = \dfrac{Q}{T}$. Esta ecuación nos permite calcular el cambio de la (entropía/energía interna) de un sistema en función del ..... suministrado al sistema y de la temperatura (Celsius/Kelvin) a la que ocurre el cambio.

* * * * *

entropía; calor; Kelvin.

42. $\Delta S = \frac{Q}{T}$. Si ΔS es positivo, la entropía del sistema (aumenta/disminuye/permanece constante). Si ΔS es negativo, la entropía del sistema (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

aumenta; disminuye.

43. $\Delta S = \frac{Q}{T}$. Esta ecuación es engañosamente sencilla y se puede aplicar directamente sólo a cambios de estado muy sencillos; se requieren conocimientos de cálculo para aplicarla correctamente a sistemas y cambios de estado complicados. Una aplicación sencilla podría ser la siguiente: *se toman* 500 cal de un sistema a una temperatura constante de 27°C. En este caso.

$Q =$ ..... cal

$T =$ ..... °K

$\Delta S =$ ..... (*número y unidades*).

* * * * *

—500 (el calor se toma del sistema)

$27°C + 273 = 300°K$

$\Delta S = -\frac{500 \text{ cal}}{340°K} = -\frac{5}{3}$ o bien -1.67 cal/K°.

44. Refiérase al panel 25. Lea el problema 1. Anteriormente decidimos que el desorden del agua a 0°C es (mayor/menor) que el del hielo a la misma temperatura; esto significa que la entropía del agua a 0°C es (mayor que/menor que/igual a) la entropía del hielo a la misma temperatura y que el cambio de entropía en el proceso descrito en este problema es (positivo/negativo/cero).

* * * * *

mayor; mayor que; positivo.

45. Panel 25, problema 1. Nuestra ecuación para ΔS en función de Q y T es: ..... = ..., donde Q es positivo para el calor (que se agrega al/que se toma del) sistema y T es la temperatura (Celsius/Kelvin).

* * * * *

$\Delta S = \frac{Q}{T}$; que se agrega al; Kelvin.

46. Panel 25, problema 1. El calor que absorbe el hielo al fundirse es el calor de fusión, que es de ..... cal (verifíquelo en la cubierta de respuestas o en el panel (16).

$\Delta S =$ ..... cal/K°.

* * * * *

80 cal

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{80 \text{ cal}}{273°\text{K}}$$

$\Delta S = 0.292$ cal/K°.

47. Panel 25. Lea el problema 2. Vimos anteriormente en esta sección que la conducción de calor de un cuerpo a mayor temperatura a otro a menor temperatura era un proceso que ocurría (sólo introduciendo fuerzas externas/espontáneamente). Ahora podemos describir este proceso particular como el que procede a un estado de (mayor/menor) entropía.

* * * * *

espontáneamente; mayor.

48. Panel 25, problema 2. Consideremos este sistema por partes: el calor fluye (hacia/desde) el cuerpo a 500°K de tal modo que Q para él es de ..... cal. El cambio de entropía del cuerpo a 500°K es por lo tanto de ..... cal/K°. Esto significa que su entropía (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

desde; -1500; $\Delta S = \dfrac{1500 \text{ cal}}{500°\text{K}} = -3$ cal/K°; disminuye (puesto que ΔS para ella es negativa).

49. Panel 25, problema 2. Ahora consideremos que el cuerpo se mantiene a 300°K. Se (agrega calor al/toma calor del) cuerpo de tal modo que Q para el cuerpo a 300°K es ..... cal. El cambio de entropía del cuerpo a 300°K es de ..... cal/K°; esto significa que su entropía (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

agrega calor al; 1500; $\Delta S = \dfrac{1500 \text{ cal}}{300°\text{K}} = 5$ cal/K°; aumenta, puesto que ΔS para ella es positiva.

50. Panel 25, problema 2. El cambio de entropía del cuerpo a 500°K es un *decremento* de 3 cal/K°, mientras que el cambio de entropía del cuerpo a 300°K es un *incremento* de 5 cal/K°. El cambio de entropía

del sistema en conjunto es un (incremento/decremento) de ..... cal/K°.

* * * * *

incremento; 2 cal/K°.

51. Hemos visto que los procesos que ocurren espontáneamente proceden en tal forma que (aumentan/disminuyen) la entropía del sistema implicado. En el problema 2 del panel 25, si hubiéramos considerado el cuerpo a 500°K como el sistema, y la varilla y el cuerpo a 300°K como su medio ambiente, la entropía del sistema habría (aumentado/disminuído), pero la entropía del sistema *más* su medio ambiente, habría (aumentado/disminuido).

* * * * *

aumentan; disminuido; aumentado.

52. Podemos ampliar nuestro principio para incluir sistemas *no* aislados, si lo enunciamos como sigue: Todos los procesos naturales tienen lugar de tal modo que (aumentan/disminuyen) la ..... del sistema más la de su ....

Para convertir 1 g de agua a 273°K en 1 g de hielo a 273°K debemos poner el agua en alguna forma de contacto térmico con un medio que esté a menor temperatura (como por ejemplo 270°K) y *tome del* agua 80 cal; esto significa que la entropía del agua (aumenta/disminuye) en ..... cal/K°. Al mismo tiempo, la entropía de su ambiente (aumenta/disminuye) en ..... cal/K°. La entropía del *agua más su medio ambiente* (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

aumenta; entropía; medio ambiente; disminuye $\left(\Delta S = -\frac{80 \text{ cal}}{273°\text{K}}\right)$;

aumenta $\left(\Delta S = \frac{80 \text{ cal}}{270°\text{K}}\right)$; aumenta $\left(\text{puesto que } \frac{80}{270} \text{ es mayor que } \frac{80}{273}\right)$

53. *Repaso:* Un proceso que ocurre espontáneamente procede hacia los estados de máxima .....

* * * * *

entropía (o probabilidad).

54. *Repaso:* Cualquier proceso que implique la interacción de un sistema con su medio ocurre de tal modo que la entropía del (sistema/sistema más su medio) (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

sistema más su medio; aumenta.

55. *Repaso:* Cuando un trozo de hielo a 0°C absorbe calor de su medio ambiente, que está a mayor temperatura, y se convierte en agua a 0°C, la entropía del hielo (aumenta/disminuye/permanece constante); la entropía del medio ambiente (aumenta/disminuye/permanece constante); la entropía del hielo más su medio ambiente (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

aumenta; disminuye; aumenta.

56. *Repaso:* La ecuación para ΔU, en función de Q y W, es .....; la ecuación para ΔS, en función de Q y T, es .....

$\left(\frac{K^\circ}{C^\circ} \Big/ \frac{cal}{K^\circ} \Big/ cal \Big/ \frac{joule}{K^\circ} \Big/ joule\right)$ son unidades para medir ΔU.

$\left(\frac{K^\circ}{C^\circ} \Big/ \frac{cal}{K^\circ} \Big/ cal \Big/ \frac{joule}{K^\circ} \Big/ joule\right)$ son unidades para medir ΔS.

* * * * *

$\Delta U = Q - W$; $\Delta S = \frac{Q}{T}$; cal, joule; cal/K°, joule/K°.

Sección 7. Problemas y repaso.

Nota: Las constantes de proporcionalidad, los calores específicos, las conductividades térmicas, etc., requeridas en los siguientes problemas, se pueden encontrar en la cubierta de respuestas o en los paneles 13 a 25. Las ecuaciones enlistadas abajo se han deducido en este capítulo y pueden ser útiles en la resolución de los problemas de esta sección. Vea esta lista siempre que crea necesario consultarla.

$$\Delta U = Q - W$$

$$W = p\Delta V$$

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = \frac{kAt(T_1 - T_2)}{d}$$

$$\frac{E}{t} = e\sigma AT^4$$

$$E = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

1. El calor específico de cierto sólido es 0.2 cal/gC°. Su punto de fusión es de 400°C y su calor de fusión es de 250 cal/g. Calcule el calor necesario para elevar la temperatura de 10 g de esta substancia, de 20°C a su punto de fusión.

* * * * *

$Q = mc\Delta T = (10\text{ g})(0.2\text{ cal/gC°})(380\text{°C}) = 760\text{ cal.}$

2. Use los datos del marco anterior para calcular el calor necesario para fundir 10 g del sólido en su punto de fusión en 10 g de líquido a la misma temperatura.

* * * * *

calor de fusión = 250 cal/g
(250 cal/g)(10 g) = 2500 cal.

3. Se introduce calor en un cilindro que contiene un gas de tal modo que el gas se expande contra un pistón, de un volumen de 3×10^{-5} m^3 a otro de 7×10^{-5} m^3 a presión *constante* de 2×10^5N/m^2. El trabajo que realiza el gas en esta expansión es de ..... joules.

* * * * *

$W = p\Delta V = (2 \times 10^5\text{ N/m}^2)(4 \times 10^{-5}\text{ m}^3) = 8$ joules.

4. Suponga que *no* hay cambio de energía interna en el sistema descrito en el marco anterior. Calcule el calor que entra al sistema (en joules).

* * * * *

$\Delta U = Q - W$

$\Delta U = 0$ y $W = 8$ joules

$Q = 8$ joules.

5. Un proceso que ocurre de tal modo que no hay cambios en la presión del sistema implicado se llama (adiabático/isotérmico/isobárico/isocórico).

* * * * *

isobárico.

6. Se confina un gas en un recipiente rápido. Si entran al sistema 8 joules de calor, el trabajo que ejecuta el gas es de ..... joules. El aumento en la energía interna del sistema es de .....joules.

* * * * *

cero (puesto que no hay cambios de volumen, no hay trabajo ejecutado); $\Delta U = Q - W$, puesto que $W = 0$, $\Delta U = 8$ joules.

7. El proceso descrito en el cuadro anterior es (isobárico/isocórico/adiabático/isotérmico). El proceso que ocurre sin cambios de temperatura es el (isobárico/isocórico/adiabático/isotérmico).

* * * * *

isocórico; isotérmico.

8. Los procesos que ocurren rápidamente implican únicamente transferencias despreciables de calor hacia o desde el sistema implicado. Tales procesos se llaman (isobáricos/isocóricos/adiabáticos/isotérmicos).

* * * * *

adiabáticos.

9. Un sistema sufre una expansión adiabática que implica un gas que realiza 25 joules de trabajo. Aplicando la primera ley de la termodinámica a este proceso, $Q =$ ..... joules y $\Delta U =$ ..... joules. La energía interna del sistema (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

0, cero (puesto que el proceso es adiabético); $\Delta U = Q - W$; $\Delta U = -25$ joules; disminuye.

10. Relacione cada uno de estos procesos con la característica que los define:

1) isotérmico	*a*) volumen fijo
2) isocórico	*b*) presión constante
3) adiabático	*c*) transferencia de calor despreciable
4) isobárico	*d*) temperatura constante.

* * * * *

1)—*d*)

2)—*a*)

3)—*c*)

4)—*b*)

11. Tanto el calor como el trabajo implican transferencias de ..... El calor es una transferencia que asociamos directamente con .... *(complete).*

* * * * *

energía; una diferencia de temperatura entre los cuerpos o sistemas implicados.

12. Una medición de 1000 joules equivale a ..... cal. Una medición de 1000 cal equivale a ..... joules.

* * * * *

1 joule = 0.24 cal

1000 joules = 240 cal

1 cal = 4.186 joules

1000 cal = 4186 joules.

13. El calor necesario para cambiar la temperatura de una cantidad fija de gas a volumen constante es (mayor que/menor que/igual a) el calor necesario para cambiar la temperatura del mismo gas, en la misma cantidad, a presión constante. Explique su respuesta.

* * * * *

menor que [porque a volumen constante no se emplea calor para reemplazar la energía empleada en la expansión; a presión constante, debe haber expansión y parte del calor se emplea en ejecutar este trabajo y no en aumentar la energía interna (temperatura)].

14. Panel 25. Lea el problema 3. La conductividad térmica de la plata es de .....

$$\left(\frac{\text{cal/seg}}{\text{cm}^2 \Big/ \frac{\text{C}^\circ}{\text{cm}}} \right)$$

$t =$ ..... seg

$A =$ .....cm^2

$d =$ ..... cm

$T_2 - T_1 =$ ..... C°

$Q =$ ..... cal.

* * * * *

1.01; 300; 0.01; 10; 200

$$Q = \frac{kAt(T_1 - T_2)}{d} = \frac{(1.01)\,(0.01)\,(300)\,(200)}{10}$$

$Q = 60.6$ cal

15. Panel 25, problema 3. Calcule el cambio en la entropía del sistema descrito en este problema.

* * * * *

En el cuerpo a 250°C, $\Delta S = -\dfrac{60.6 \text{ cal}}{523°\text{K}}$

En el cuerpo a 50°C, $\Delta S = \dfrac{60.6 \text{ cal}}{323°\text{K}}$

En el sistema, $\Delta S = \dfrac{60.6 \text{ cal}}{323°\text{K}} - \dfrac{60.6 \text{ cal}}{523°\text{K}}$

$= 0.072 \text{ cal/K°}.$

16. Los tres métodos más comunes de transferencia de calor son la ....., la ..... y la .....

* * * * *

en cualquier orden: conducción, convección, radiación.

17. De los métodos de transferencia de calor, el más efectivo a través de un sólido es el de .....; implica una transferencia de (energía únicamente/energía y materia/energía a través del vacío). En general, los gases y los líquidos son malos ..... de calor; el método más efectivo de transferencia de calor en los gases y en los líquidos es el de ..... El calor puede transferirse en el vacío únicamente por .....

* * * * *

conducción; energía únicamente; conductores; convección; radiación.

18. ¿Qué método de transferencia de calor implica realmente el movimiento de material caliente o tibio de un lugar a otro?

* * * * *

la convección.

19. Tanto las ondas de calor radiante como las luminosas son .... La radiación es detectable como calor [(1) al propagarse en el vacío (2) sólo después de haberla absorbido la materia].

* * * * *

electromagnéticas; (2).

20. Un cuerpo negro es un dispositivo que absorbe (toda/parte de/nada de) la energía radiante que incide en él. Un cuerpo negro es el mejor (emisor/reflector/absorbente/emisor y absorbente) de energía radiante.

* * * * *

toda; emisor y absorbente.

21. Escriba la ecuación de Stefan-Boltzmann para la cantidad de calor radiante que emite un objeto con emisividad e, con un área de superficie A y a una temperatura Kelvin T.

* * * * *

$$\frac{E}{t} = e\sigma AT^4$$

22. Calcule (en cal) la energía que emite un cuerpo negro con un área superficial de 2×10^{-4} m^2 durante 5 segundos, a una temperatura de 300°K.

* * * * *

$$\frac{E}{t} = e\sigma AT^4$$

$t = 5$ seg

$e = 1$ (para un cuerpo negro)

$\sigma = 1.35 \times 10^{-8}$ cal/m^2 seg K°^{4}

$A = 2 \times 10^{-4}$ m^2

$T = 300$°K

$E = (1)(1.35 \times 10^{-8})(2 \times 10^{-4})(300)^4(5) = 0.109$ cal.

23. Las brisas refrescantes que proceden del mar durante el día y las brisas refrescantes que parten de la costa al mar durante la noche son ejemplos de transferencia de calor por .....

* * * * *

convección.

24. Refiérase a la Fig. 2 del panel 22. Ponga en orden los siguientes pasos del ciclo de Carnot:

1) contracción isotérmica

2) expansión adiabática

3) contracción adiabática

4) expansión isotérmica.

* * * * *

(4); (2); (1); (3).

25. Todas las máquinas térmicas (toman calor de/expulsan calor a) (un recipiente/una fuente) a elevada temperatura y (toman calor de/expulsan calor a) (un recipiente/una fuente) a menor temperatura.

* * * * *

toman calor de; una fuente; expulsan calor a; un recipiente.

26. La segunda ley de la termodinámica afirma que es (posible/imposible) tomar calor de una fuente y convertirlo completamente en trabajo. Conforme a la segunda ley (parte del/todo el/nada del) calor que se toma de una fuente tiene que expulsarse a un recipiente a menor temperatura.

* * * * *

imposible; parte del.

27. El hecho de que no podamos lograr el cero absoluto de temperatura en un número finito de operaciones lo afirma la (primera/segunda/tercera) ley de la termodinámica.

* * * * *

tercera.

28. "Un proceso que consiste en realizar un trabajo extrayendo calor de una fuente y expulsándolo a un recipiente a la misma temperatura es imposible." Este es un enunciado de la (primera/segunda/tercera) ley de la termodinámica.

* * * * *

segunda.

29. Calcule la eficiencia máxima de una máquina térmica que extrae calor de una fuente de 400°C y la expulsa en un recipiente a 20°C. (*dé la respuesta en forma de fracción*).

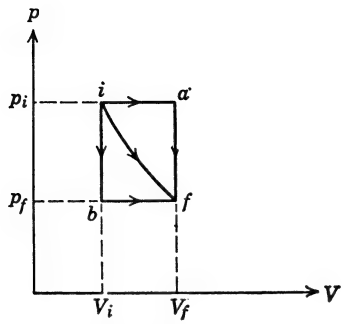
* * * * *

$$E = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$T_1 = 400°\text{C} + 273 = 663°\text{K}; \quad T_2 = 20°\text{C} + 273 = 293°\text{K}$$

$$E = 1 - \frac{293°\text{K}}{663°\text{K}} = \frac{370}{663}$$

30. Esta es una gráfica pV que muestra diversas trayectorias por las que puede cambiar un gas de un estado i a otro f, lo que implica expansión del volumen V_i al volumen V_f. ¿Cuál trayectoria implica



el mayor trabajo para el gas? (*iaf/if/ibf*). ¿Cuál implica el menor trabajo?

* * * * *

iaf; *ibf*.

31. Refiérase a la figura del cuadro anterior. Por cuál trayectoria (*iaf/if/ibf*), si es cualquiera de éstas, es máxima la diferencia $(Q - W)$?

* * * * *

por ninguna (la diferencia $Q - W$ es igual en todas las trayectorias, de *i* a *f*).

32. Refirámonos a la gráfica pV del cuadro 30. Escriba una expresión para el trabajo que ejecuta el gas al expandirse de V_i a V_f por la trayectoria *ia*, en función de V_i, V_f y p_i o p_f.

* * * * *

En la trayectoria *iaf* el gas se expande a presión constante p_i
$W = p_i \Delta V = p_i(V_f - V_i)$.

33. Refiérase a la gráfica pV del cuadro 30. Escriba una expansión para el trabajo que realiza el gas al expandirse de V_i a V_f por la trayectoria *ibf*.

* * * * *

$W = p_f(V_f - V_i)$.

34. Los procesos como la difusión y la libre expansión de los gases ocurren espontáneamente porque tienden hacia un estado de máximo

. . . . . .

* * * * *

desorden, probabilidad, entropía.

35. Los gases que forman la mezcla que llamamos aire no se separan espontáneamente en nitrógeno en una esquina de una habitación, oxígeno en otra, bióxido de carbono en otra, etc., porque tal disposición es (teóricamente imposible/grandemente improbable).

* * * * *

grandemente improbable.

36. Panel 25. Lea el problema 4. La ecuación para el cambio de entropía en función de Q y T es ..... = ... En este caso, la magnitud de Q es el calor de ..... del agua, que es de ..... cal/g T = ... (*número y unidad*).

* * * * *

$\Delta S = \dfrac{Q}{T}$; evaporación; 540 cal; 373°K.

37. Panel 25, problema 4. ΔS = ... cal/K°. (Hay un aumento/hay una disminución/no hay cambios) en la entropía del vapor, Para producir este cambio particular del vapor, éste debe estar en contacto con un medio ambiente que tenga una temperatura más (alta/baja).

* * * * *

$$\Delta S = -\frac{540 \text{ cal}}{373°\text{K}}$$

$$= -1.45 \text{ cal/K°}; \text{ hay una disminución; baja.}$$

38. Panel 25, problema 4. Suponga que el medio ambiente en que el vapor transfiere las 540 cal está a una temperatura de 20°C. Calcule el cambio de entropía del medio.

* * * * *

Para el medio ambiente, $T = 273 + 20°\text{C} = 293°\text{K}$

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{540 \text{ cal}}{293°\text{K}}$$

$$= 1.84 \text{ cal/K°}.$$

39. Panel 25, problema 4. La entropía del medio ambiente (aumenta/disminuye); el cambio total en el vapor más el medio ambiente es (un aumento/una disminución) de ..... cal/K°.

* * * * *

aumenta; un aumento; 1.84 cal/K° − 1.45 cal/K° = 0.39 cal/K°.

40. El calor necesario para elevar la temperatura de 1 g de una substancia 1C° se llama .... de la substancia. El calor necesario para cambiar 1 g de una substancia sólida en su punto de fusión en 1 g de líquido a la misma temperatura se llama ..... de ..... de esa substancia. El calor necesario para cambiar 1 g de una substancia líquida en su punto de ebullición en 1 g de gas a la misma temperatura se llama ..... de ..... de esa substancia.

* * * * *

calor específico; calor de fusión; calor de evaporación.

41. Un proceso que consiste en realizar un trabajo extrayendo calor de una fuente y expulsarlo a un recipiente a la misma temperatuar es según la (primera/segunda) ley de la termodinámica (posible/imposible).

* * * * *

segunda; imposible.

42. Panel 25. Lea el problema 5. Sea T la temperatura de equilibrio térmico.

Calor que fluye al mercurio = (.....)(.....)(.....)

Calor que emite el agua = (.....)(.....)(.....)

T = ... °C.

* * * * *

$(1000\text{ g})(0.033\text{ cal/gC°})(T - 20)\text{C°}$

$(200)(1\text{ cal/gC°})(100 - T)\text{C°}$

$33(T - 20) = 200(100 - T)$

$33T - 660 = 20{,}000 - 200T$

$T = 89°\text{C}.$

PROBLEMAS

1. Defina los procesos adiabático e isotérmico. Dé un ejemplo de cada uno usando un cilindro, gas y un pistón como sistema.
2. Haga la distinción entre el trabajo y el calor como formas de transferencia de energía. Enuncie la ley que relaciona los cambios en la energía interna de un sistema con la entrada de calor al sistema y el trabajo que ejecuta éste.
3. En un sistema entran 25 joules de calor mientras el sistema realiza 5 joules de trabajo. Calcule el cambio de energía interna del sistema.

4. Entran 10 joules de flujo de calor a un sistema mientras una fuerza externa realiza 5 joules de trabajo en el sistema. Calcule el cambio de energía interna del sistema.

5. Calcule el calor que se necesita para subir la temperatura de 100 g de agua de 20 a 80°C.

6. Calcule el calor necesario para elevar de 0°C a 200°C la temperatura de 60 g de hierro ($c = 0.115$).

7. 5 000 g de hierro absorben 500 calorías; la temperatura original del hierro es de 20°C. Calcule la temperatura final del hierro.

8. Se sumergen 35 g de aluminio ($c = 0.212$) a 10°C en 100 g de agua a 100°C. Calcule la temperatura de equilibrio térmico de esta mezcla.

9. Calcule el calor necesario para convertir 25 g de hielo a $-$ 20°C en 25 g de vapor a 110° C.

10. En una mezcla de 100 g de hielo picado y agua se alimenta vapor a 100°C hasta que se funde el hielo. Si había en la mezcla 10 g de hielo, ¿cuánto vapor se requirió?

11. Convierta 100 joules en calorías y 500 calorías en joules.

12. Haga una distinción clara entre los procesos isobárico e isocórico. Dé un ejemplo de cada uno.

13. Identifique los tres métodos principales de transferencia de calor. Describa cada uno de ellos y dé ejemplos.

14. Una plancha de aluminio de 1 m $\times$ 1 m $\times$ 10 cm tiene sus caras (cuadradas) opuestas a temperaturas mantenidas de 10 y 100°C. Calcule en calorías el calor que pasa de una cara a la otra, en 30 seg *(use la tabla del panel 20)*.

15. Calcule la cantidad de energía que radia un cuerpo negro con una temperatura de 727°C, si su área superficial es de 3.00×10^{-4} m^2. [Use $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ joules/m^2 seg(K°)^4].

16. Calcule la eficiencia térmica de una máquina térmica que opera entre una fuente a 600°K y un recipiente a 300°K.

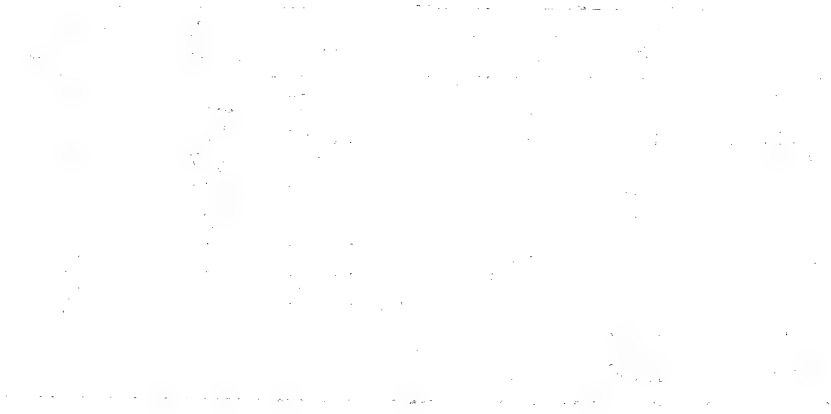
17. Enuncie las tres leyes de la termodinámica.

18. Calcule el cambio de entropía de 10 g de hielo a 0°C al convertirse en 10 g de agua a 0°C.

19. Calcule el cambio de entropía de 1 g de vapor a 100°C al condensarse en 1 g de agua a 100°C.

20. Uno de los extremos de una varilla de plata está en contacto con un cuerpo mantenido a 227°C y el otro extremo con un cuerpo mantenido a 27°C. Considere como sistema aislado a los dos cuerpos y la varilla y calcule el cambio en la entropía del sistema, si a través de la varilla fluyen 5000 cal.

21. Se hace entrar calor a un cilindro que contiene un gas en tal forma que el gas se expande contra un pistón, de un volumen 2×10^{-5} m^3 a 8×10^{-5} m^3 a una presión constante de 2×10^4 N/m^2. Calcule el trabajo que realiza el gas en la expansión. Si el aumento en la energía interna del gas es de 0.8 joules, calcule la cantidad de calor que absorbe el sistema.



Panel 1

Substancia	*Masa (kg)*	*Volumen (m^3)*	*kg/m^3*	*Densidad g/m^3*	*Gravedad específica*
Alcohol	0.79	10^{-3}	7.9×10^2	0.79	0.79
Aluminio	2.7	10^{-3}	2.7×10^3	2.7	2.7
Mantequilla	0.87	10^{-3}	8.7×10^2	0.87	0.87
Corcho	0.25	10^{-3}	2.5×10^2	0.25	0.25
Oro	19.3	10^{-3}	1.93×10^4	19.3	19.3
Hierro	7.1	10^{-3}	7.1×10^3	7.1	7.1
Plomo	11.3	10^{-3}	1.13×10^4	11.3	11.3
Mercurio	13.6	10^{-3}	1.36×10^4	13.6	13.6
Leche	1.029	10^{-3}	1.029×10^3	1.029	1.029
Agua	1.000	10^{-3}	10^3	1	1

Panel 1

Panel 2

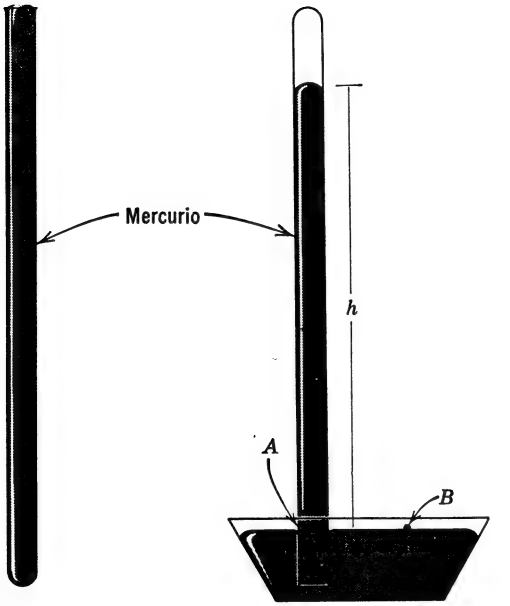


Fig. 1 **Fig. 2**

Experimento de Torricelli. Torricelli llenó con mercurio un tubo de vidrio sellado en un extremo, de aproximadamente 100 cm de longitud (Fig. 1). En seguida invirtió el tubo colocando el extremo abierto bajo la superficie del mercurio en una vasija ancha (Fig. 2). El nivel del mercurio en el tubo invertido bajó hasta aproximadamente 76 cm arriba de la superficie del mercurio de la vasija.

Panel 3

Coeficiente de expansión térmica

A

Lineal	1/C°
Aluminio	2.4×10^{-5}
Latón	1.9×10^{-5}
Cobre	1.7×10^{-5}
Vidrio	0.9×10^{-5}
Hierro	1.2×10^{-5}
Platino	0.9×10^{-5}
Acero	1.3×10^{-5}
Tungsteno	0.43×10^{-5}

B

Volumen	1/C°
Alcohol (etílico)	7.5×10^{-4}
Bisulfuro de carbono	11.5×10^{-4}
Glicerina	4.9×10^{-4}
Mercurio	1.8×10^{-4}

Panel 4

Densidades de algunos gases, líquidos y sólidos a TPN (0°C y 1 atm de presión). (Todos los valores están en kg/m²)

Gases

Aire	1.293
Bióxido de carbono	1.977
Helio	0.1785
Hidrógeno	0.0899
Sulfuro de hidrógeno	1.5
Oxígeno	1.251

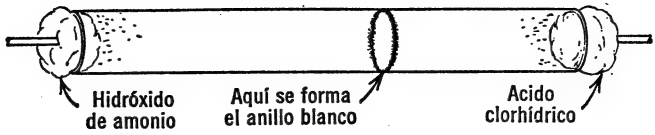
Líquidos

Alcohol	0.79×10^3
Eter	0.73×10^3
Mercurio	13.6×10^3
Aceite de olivo	0.92×10^3
Agua del mar	1.03×10^3
Agua	1.00×10^3

Sólidos

Aluminio	2.70×10^3
Cobre	8.9×10^3
Corcho	0.24×10^3
Oro	19.3×10^3
Hielo	0.92×10^3
Plomo	11.3×10^3
Plata	10.5×10^3
Madera (de olmo)	0.57×10^3
Cinc	7.1×10^3

Panel 5



Experimento A. Una solución concentrada de ácido clorhídrico a la temperatura ambiente libera un gas llamado cloruro de hidrógeno. Una solución concentrada de hidróxido de amonio produce un gas llamado amoniaco. Cuando se mezclan el cloruro de hidrógeno y el amoniaco, uno de sus productos es un sólido blanco llamado cloruro de amonio.

En el laboratorio, se toma un tubo de vidrio de 100 cm de largo aproximadamente y 1.5 cm de diámetro abierto en ambos extremos. En el extremo derecho se inserta un tapón de algodón previamente sumergido en ácido clorhídrico concentrado (vea la figura); en el extremo izquierdo se coloca un tapón semejante previamente sumergido en hidróxido de amonio concentrado.

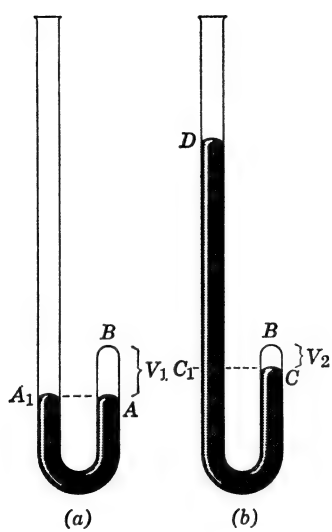
Después de algunos minutos, el experimentador observa que se forma un anillo blanco cerca del centro del tubo.

Experimento B El sulfuro de hidrógeno es un gas *incoloro* ligeramente más pesado que el aire y con un fuerte olor a huevo podrido.

Se coloca en una esquina del laboratorio una botella pequeña con sulfuro de hidrógeno, tapada.

Se quita el tapón de la botella y pocos segundos después se percibe en *todo* el laboratorio el olor a huevo podrido.

Panel 6


B
V_1
A_1
A
(a)
D
B
V_2
C_1
C
(b)

1. El tubo en forma de J es un dispositivo que se emplea para comprobar la ley de Boyle; es un tubo de vidrio doblado cuidadosamente en forma de J; el brazo corto está sellado, el brazo largo está abierto y mide aproximadamente 100 cm de largo.

2. El experimentador vacía en el tubo mercurio suficiente para encerrar el aire en el brazo cerrado y tener en ambos brazos columnas de mercurio al mismo nivel (vea la Fig. *a*).

3. Puesto que el diámetro del tubo de vidrio es uniforme, el *volumen* de cualquier sección del tubo es directamente proporcional a la longitud de la sección.

4. El experimentador mide la longitud de *AB* en la figura *a* y la registra como el volumen V_1.

5. En seguida vacía más mercurio en el tubo, espera unos minutos para que el aire en el extremo cerrado del tubo quede a la temperatura ambiente y mide: (1) la longitud de *BC* y la registra como V_2; (2) la longitud de la columna de mercurio C_1D.

6. En seguida agrega más mercurio, espera algunos minutos y registra los datos como en el inciso 5.

7. Abajo están los datos registrados en un experimento de estos. Antes del experimento, durante y después de él, el experimentador revisó la presión atmosférica y la temperatura ambiente. El barómetro se encontró estable en 76.0 cm de mercurio y la temperatura constante a 20°C.

1(V)	2	3(p)	4(pV)
Volumen *del aire confinado (en cm)*	*Diferencia en las alturas del mercurio en los brazos abierto y cerrado (en cm)*	Presión absoluta *en el aire confinado = Lectura en (2) + Presión atmosférica (en cm de Hg)*	*Producto de las columnas (1) y (3) con tres cifras significativas*
4.8	0	76.0	364
4.0	15.7	91.7	366
3.2	38.4	114.4	365
2.4	75.5	151.5	364
1.6	148	224	358
1.2	224	300	360

Panel 7

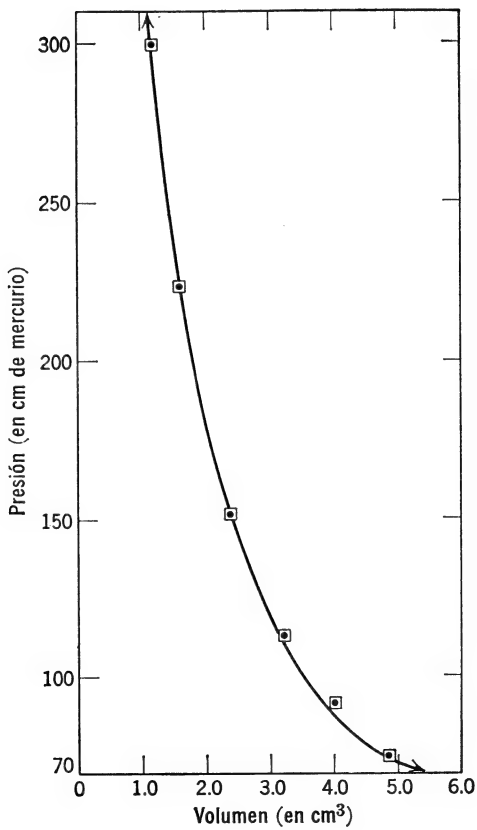

300
250
200
150
100
70
Presión (en cm de mercurio)
0
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
Volumen (en cm³)

Fig. 1

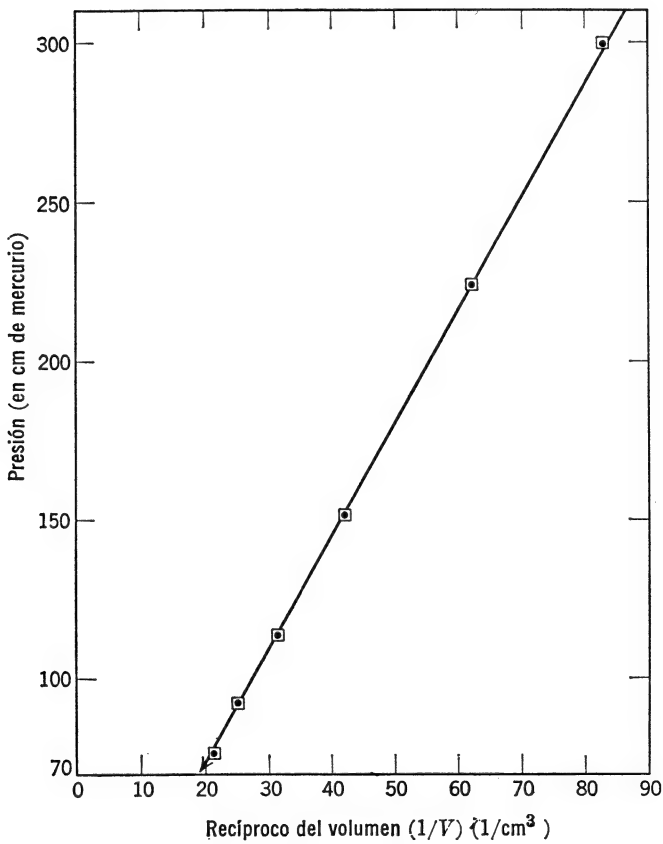


Fig. 2. Masa y temperatura constantes.

Panel 7

Panel 8

1. Se confina una muestra de gas en un cilindro con un pistón que permite al experimentador cambiar el volumen del gas. La presión en 100 cm^3 del gas es de 50 dinas/cm^2. ¿Qué presión hay cuando se ajusta el pistón hasta que el gas ocupa un volumen de 25 cm^3? Suponga constante la temperatura.

2. Una muestra de gas mantenida originalmente a una presión atmosférica de 75 cm de mercurio se introduce en un recipiente de 250 cm^3 bajo una presión de 600 cm de mercurio. ¿Cuál era el volumen del gas originalmente?

3. Se calientan a 127°C 200 cm^3 de aire originalmente a 27°C. Si se mantiene la presión constante durante este cambio, y la masa del gas también es constante, calcule el nuevo volumen del aire.

4. El volumen de un gas confinado a 273°C es de 500 cm^3. Su presión se mantiene constante a 76 cm de mercurio. ¿A qué temperatura se debe enfriar el gas para reducir su volumen a 125 cm^3?

5. Una muestra de un gas a una presión de 76 cm de mercurio ocupa un volumen de 100 cm^3 a una temperatura de 27°C; la muestra se enfría a −73°C y se introduce en un recipiente que tiene un volumen de 25 cm^3.

6. Una muestra de un gas tiene una presión de 100 cm de mercurio y un volumen de 946 cm^3 a una temperatura de 200°C. ¿A qué temperatura debe enfriarse para tener un volumen de 500 cm^3 y una presión de 75 cm de mercurio?

7. Un gas confinado ocupa 100 cm^3 a una temperatura de −73°C y una presión de 0.75 atm. Se calienta a 327°C mientras su volumen permanece constante. Calcule su presión en atmósferas y en cm de mercurio.

8. Un experimentador usa una bomba de vacío para retirar el aire de un recipiente de 0.224 m^3. En seguida mide la masa del recipiente, que es de 10.00 kg. Llena el recipiente con gas de nitrógeno a una presión de 76 cm de mercurio; en seguida mide la masa de recipiente y nitrógeno y encuentra que es de 10.28 kg.

9. ¿Cuántas moléculas de nitrógeno hay en un recipiente de 0.01 m^3 mantenido a una presión de 10 atm y una temperatura de 27°C,

10. El vacío del espacio interestelar es aproximadamente de una molécula por cm^3. Si la temperatura media es aproximadamente de 100°K, calcule la presión del gas bajo estas condiciones.

11. Calcule la *vcm* de una molécula de hidrógeno a TPN.

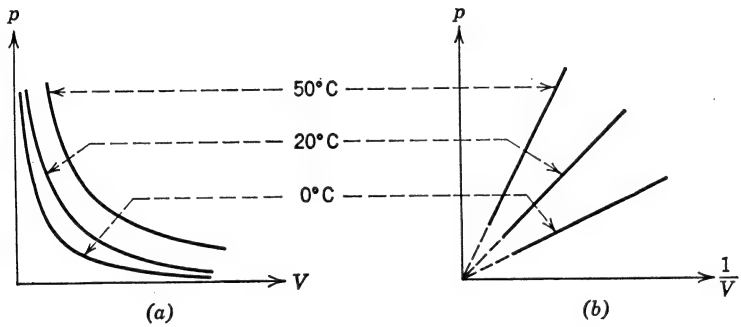
Panel 9

1. El experimentador que desarrolló los datos del panel 6 para comprobar la ley de Boyle desea ahora determinar el efecto de la temperatura en el producto pV.

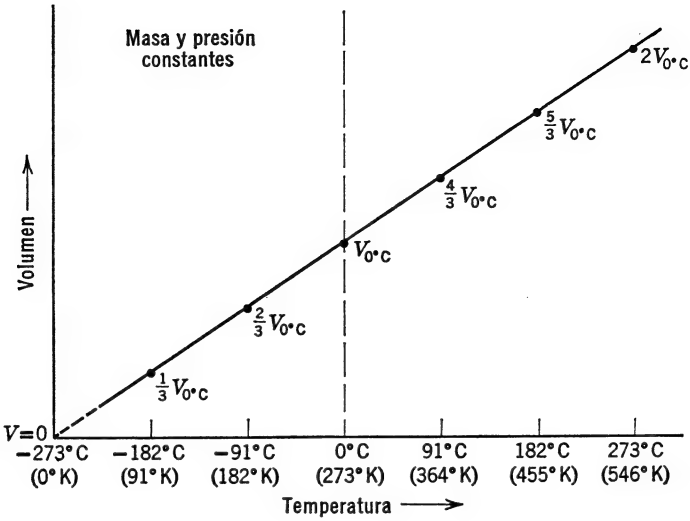
2. Toma los datos del panel 6 y los grafica en dos curvas; estas curvas son las identificadas como "20°C" en las figuras (*a*) y (*b*) que están ilustradas abajo.

3. En seguida hace una serie de mediciones de presión y volumen usando como antes un tubo en forma de J, pero con la temperatura constante a 0°C. En seguida traza estos datos en las gráficas indicadas abajo.

4. Ahora toma una serie de mediciones a una temperatura constante de 50°C y traza estos datos en las mismas gráficas tal como lo hizo en los puntos 2 y 3.



Panel 10


Masa y presión constantes
Volumen
$2V_{0°C}$
$\frac{5}{3}V_{0°C}$
$\frac{4}{3}V_{0°C}$
$V_{0°C}$
$\frac{2}{3}V_{0°C}$
$\frac{1}{3}V_{0°C}$
$V=0$
−273°C (0° K)
−182°C (91° K)
−91°C (182° K)
0°C (273° K)
91°C (364° K)
182°C (455° K)
273°C (546° K)
Temperatura

Panel 10

Panel 11

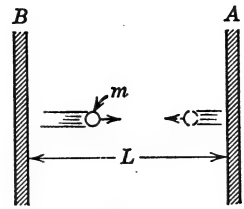


Fig. 1

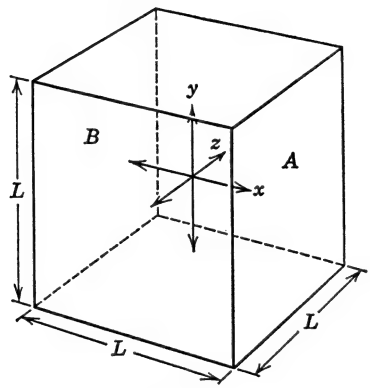


Fig. 2

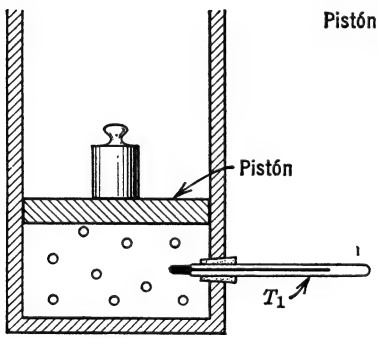


Fig. 3

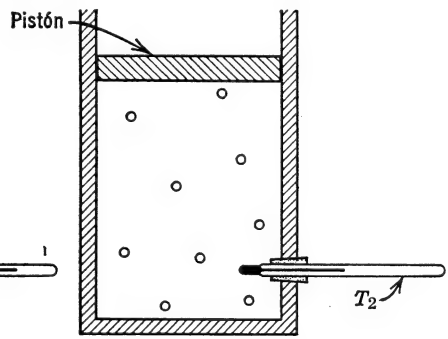


Fig. 4

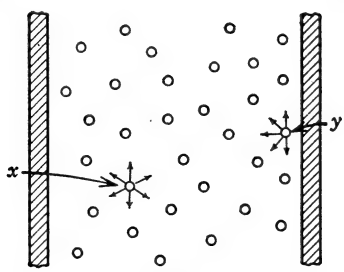


Fig. 5

Panel 12

La que sigue es una lista de hipótesis basadas en la teoría cinética de los gases; el número de hipótesis no es de importancia; generalmente, algunas de las hipótesis enlistadas separadamente aquí, están enunciadas en conjunto como una sola. Esta lista está detallada de tal modo que dé respuestas en su texto fáciles y más directas.

I. Un gas está compuesto por pequeñas partículas llamadas moléculas.

II. El volumen de una sola molécula es tan pequeño que el volumen total que ocupa únicamente las moléculas es despreciable comparado con el volumen que ocupa el gas en sí.

III. El número total de moléculas de un gas es muy grande y su movimiento es al azar, por lo tanto, el número que se mueve en una dirección cualquiera es aproximadamente el mismo número que se mueve en cualquier otra dirección.

IV. Aunque las moléculas de un gas se mueven al azar, tienen una rapidez media que no cambia con el tiempo en ausencia de fuerzas externas.

V. Las moléculas de un gas no ejercen entre sí fuerzas desbalanceadas, excepto cuando chocan entre sí.

VI. Los choques intermoleculares y los de las moléculas con las paredes de su recipiente son interacciones perfectamente elásticas.

VII. Las moléculas de un gas obedecen a las leyes de Newton del movimiento.

VIII. La temperatura Kelvin de un gas es directamente proporcional a la energía cinética media de translación de sus moléculas.

Panel 13

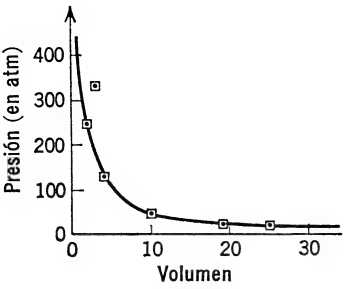


Fig. 1

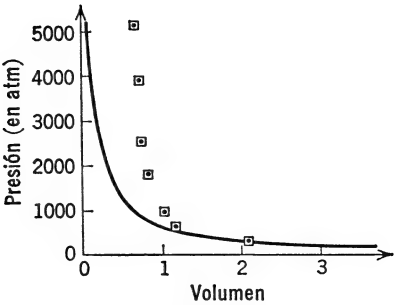


Fig. 2

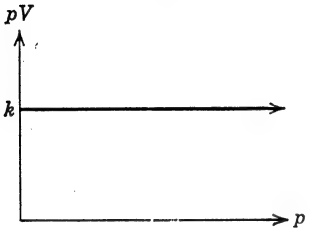


Fig. 3

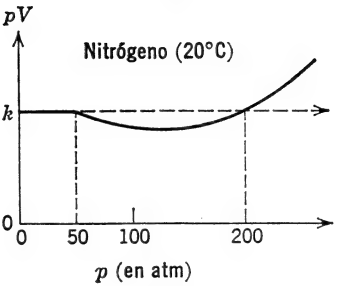


Fig. 4

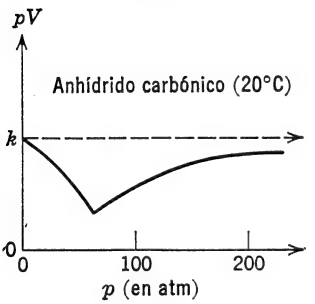


Fig. 5

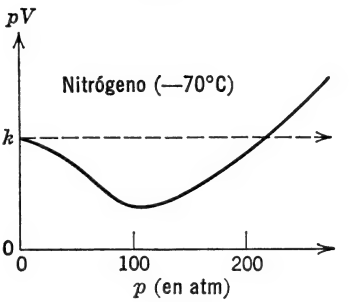


Fig. 6

Panel 13

Panel 14

Calores específicos $\left(\text{en } \frac{\text{cal}}{\text{g} - \text{C}^\circ}\right)$

Sólidos

Aluminio	0.212
Latón	0.090
Cobre	0.092
Vidrio	0.16
Oro	0.0316
Hielo	0.51
Hierro	0.115
Plomo	0.030
Plata	0.056
Cinc	0.093

Líquidos

Alcohol	0.60
Mercurio	0.033
Agua	1.00

Gases

	a volumen constante	*a presión constante*
Aire	0.171	0.240
Hidrógeno	2.44	3.43
Vapor	0.364	0.482

Panel 15

1. Se vacían 100 g de agua a 70°C en 300 g de agua a 20°C; la mezcla está lo suficientemente aislada de su medio ambiente para que toda la transferencia de calor se verifique entre estas cantidades de agua y no se transfiera calor al medio ambiente. Calcule la temperatura a que ocurre el equilibrio térmico.

2. Se calienta a 120°C un bloque de aluminio con una masa de 100 g y se deja caer en 1000 g de agua que está inicialmente a 20°C. Calcule la temperatura de equilibrio térmico de la mezcla, suponiendo que la transferencia de calor al medio es despreciable.

3. Calcule el calor necesario para convertir 10 g de *hielo* a −20°C en 10 g de vapor a 120°C; suponga constante la presión y use 0.5 cal/gC° como valor aproximado de los calores específicos del hielo y el vapor. Use los calores latentes de fusión y de evaporación en los paneles 16 y 17.

4. Se dejan caer 25 g de hielo a 0°C en 200 g de agua inicialmente a 35°C; suponga aislamiento del medio y calcule la temperatura de equilibrio térmico. Use 80 cal/g como calor de fusión del hielo.

5. Una bala de plomo de 0.005 kg tiene una velocidad de 1000 m/seg. Calcule el aumento de temperatura de la bala al dar en el blanco, si se usa ⅙₀ de su energía cinética en calentarla. Vea el calor específico del plomo en el panel 14.

6. En la figura se muestra agua hirviendo a la presión *constante* que proporciona la *atmósfera* al pistón móvil (suponga despreciable el peso del pistón). Q es el calor que transfiere la flama del mechero al sistema y W es el trabajo que realiza el gas al expandirse. El experimento demuestra que a una presión de 1 atm (1.01×10^5 N/m^2), 1 g de agua a 100°C ocupa 1671×10^{-6} m^3. Calcule el aumento de energía interna de 1 g de agua al cambiar de agua a 100°C a vapor a la misma temperatura.

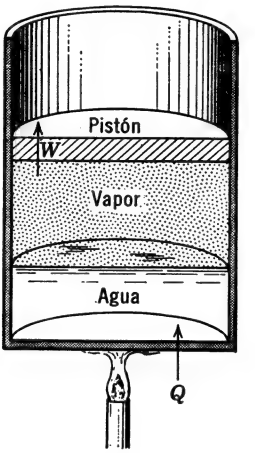


Fig. 6

7. La cara interior de un vidrio de ventana se mantiene constantemente a 25°C. La temperatura exterior permanece a 10°C por un período de 3 horas; el área de la ventana es de 1 m^2; el espesor del vidrio es 0.3 cm. Calcule el calor que transfiere el interior al exterior durante este período.

8. Un radiador de cuerpo negro tiene un área de superficie de 3×10^{-2} m^2 y se mantiene durante 30 minutos a 127°C. Calcule la *cantidad* de energía radiante que emite y la cantidad total de energía que radia en este lapso de tiempo.

Panel 16

Calores latentes de fusión de substancias cristalinas, en cal/g

Alcohol	24.9
Aluminio	76.8
Amoniaco	108.1
Cobre	42
Oro	15.8
Mercurio	2.8
Oxígeno	3.3
Platino	27.2
Estaño	14.0
Agua (hielo)	80

Panel 17

Calores latentes de evaporación en cal/g de líquidos (a 1 atm de presión)

Alcohol	204
Amoniaco	327
Hidrógeno	108
Mercurio	70.6
Oxígeno	50.9
Agua	540

Panel 18

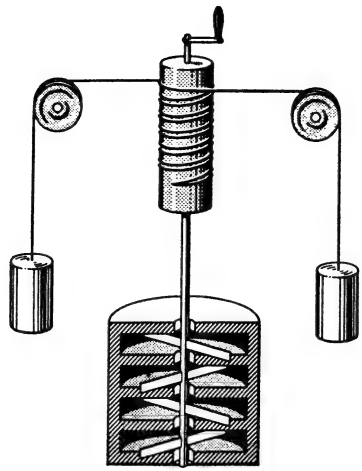


Fig. 1. Este dispositivo, llamado agitador, es en esencia un aparato de Joule para determinar experimentalmente el equivalente mecánico del calor. Cuando las pesas bajan realizan un trabajo al hacer girar las paletas; las paletas agitan la masa determinada de agua que hay en el recipiente, elevando su temperatura; el cambio de temperatura que produce la agitación se puede leer en un termómetro (no ilustrado) colocado dentro del recipiente. Se ha escogido para el recipiente y las paletas un material que absorba una cantidad de calor despreciable.

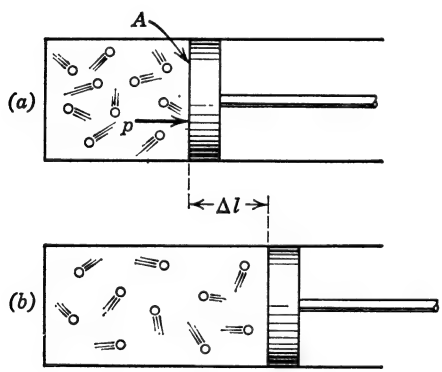


Fig. 2

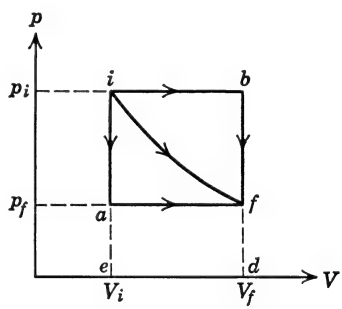


Fig. 3

Panel 19

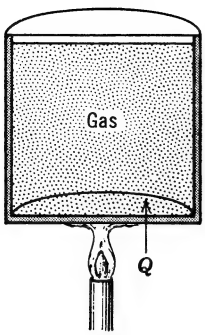


Fig. 1

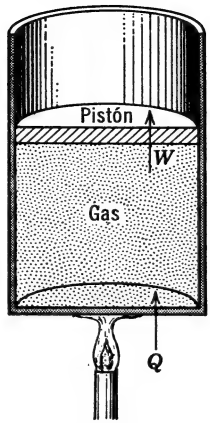


Fig. 2

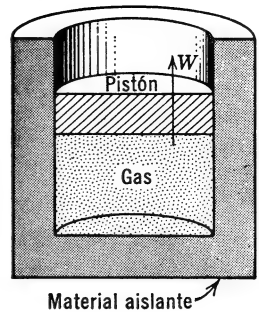


Fig. 3

Cada una de estas figuras representa un recipiente con un gas confinado en él. La Fig. 1 es un recipiente de *volumen fijo*. La Fig. 2 tiene un pistón móvil para que el gas se expanda o comprima a *presión constante*. La Fig. 3 tiene un pistón móvil; el recipiente y el pistón están fabricados de materiales aislantes al calor (material adiabático), a través de los cuales la transferencia del mismo es despreciable. Los recipientes de las Figs. 1 y 2 son de un material por el que el calor pasa muy rápidamente (material diatérmico).

Panel 20

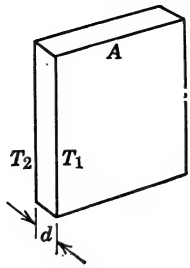


Fig. 1

I. Metales		
	Aluminio	0.50
	Cobre	0.99
	Hierro	0.163
	Plomo	0.083
	Mercurio	0.020
	Plata	1.01
II. Sólidos no metálicos		
	Asbestos	0.0004
	Concreto	0.0020
	Vidrio (de ventanas)	0.0025
	Hielo	0.00026
	Madera	0.0004
III. Líquidos y gases		
	Aire	0.000057
	Alcohol	0.00057
	Hidrógeno	0.00041
	Agua	0.0014

Fig. 2. Tabla de conductividades térmicas en $\dfrac{\text{cal/seg}}{\text{cm}^2 \times \dfrac{\text{C}^\circ}{\text{cm}}}$

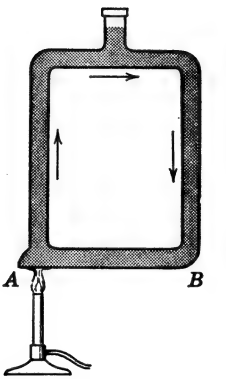


Fig. 3

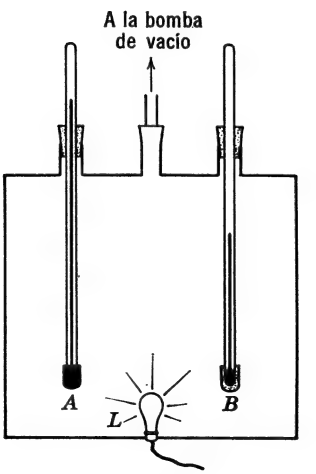


Fig. 4

Panel 21

Poder de emisión (e) *y poder de reflexión* (r) *de diferentes superficies a* $T = 373°K$

	e	*r*
Cuerpo negro	1	0
Negro de humo	0·97	0.03
Papel de asbestos	0.93	0.07
Pintura negra (mate)	0.91	0.09
Vidrio de ventanas	0.88	0·12
Hierro galvanizado	0.50	0.50
Hierro galvanizado (brillante)	0.15	0.85
Cobre, pulido	0.07	0.93
Hoja de aluminio	0·06	0.94

Panel 22

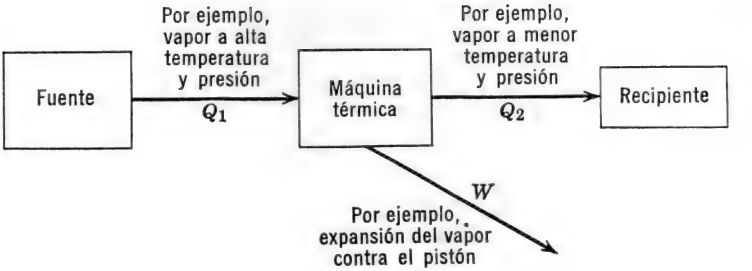


Fig. 1

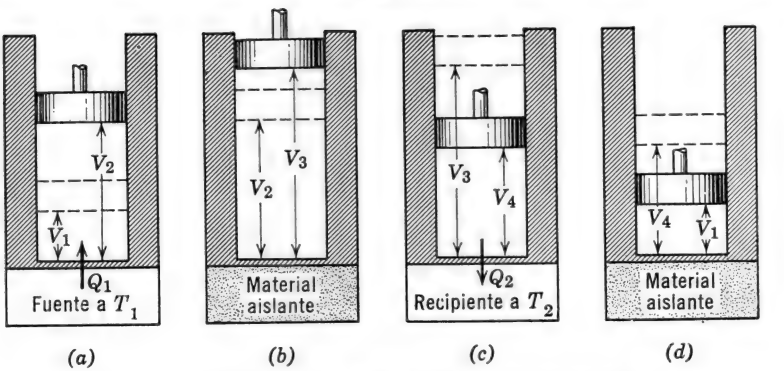


Fig. 2

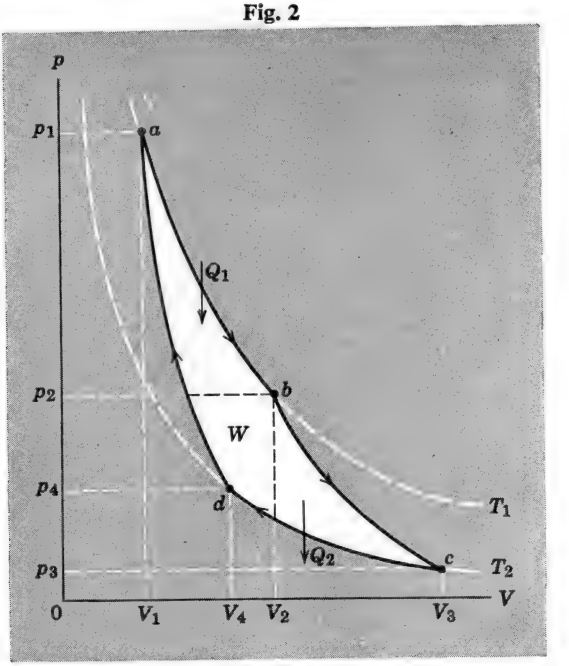


Fig. 3

Panel 23

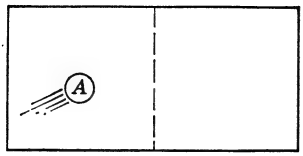


Fig. 1

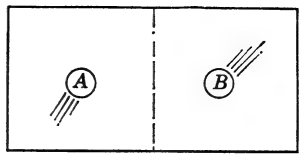


Fig. 2

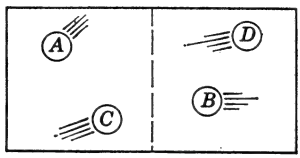


Fig. 3

Mitad izquierda	Mitad derecha
ABCD	Ninguna
ABC	*D*
ABD	*C*
ACD	*B*
BCD	*A*
AB	*CD*
AC	*BD*
AD	*BC*
None	*ABCD*
D	*ABC*
C	*ABD*
B	*ACD*
A	*BCD*
CD	*AB*
BD	*AC*
BC	*AD*

Fig. 4

Panel 24

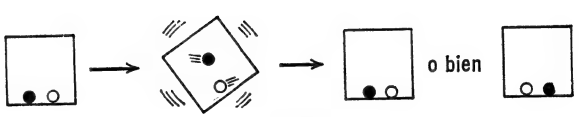


Fig. 1

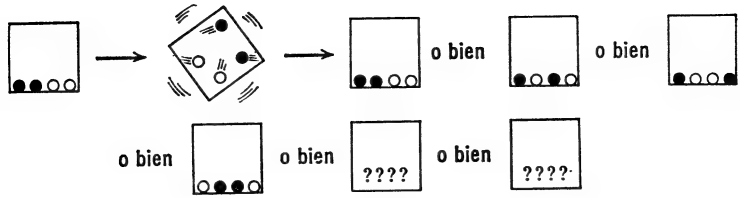


Fig. 2

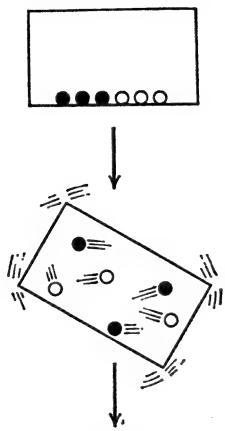


Fig. 3

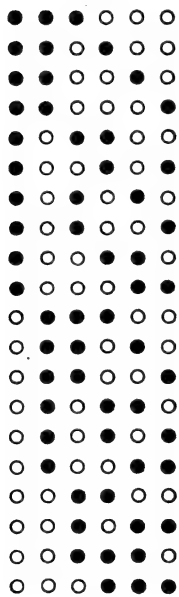


Fig. 4

Panel 25

1. Calcule el cambio de entropía de 1 g de hielo a 0°C al pasar a 1 g de agua a 0°C.

2. Un extremo de una varilla de metal se pone en contacto con un cuerpo a una temperatura constante de 300°K y el otro extremo con un cuerpo a una temperatura constante de 500°K. Considere los dos cuerpos y la varilla como sistema aislado y calcule el cambio en la entropía del sistema al conducirse 1500 cal por la varilla.

3. Un extremo de una varilla de plata está en contacto con un cuerpo mantenido a 250°C y el otro extremo con un cuerpo mantenido a 50°C. La varilla mide 10 cm de largo y tiene una sección de 0.01 cm^2. Calcule la cantidad de calor que conduce la varilla en 5 minutos.

4. Calcule el cambio de entropía de 1 g de vapor a 100°C a 1 g de agua a 100°C.

5. A 200 g de agua al 100°C se les agregan 1000 g de mercurio a 20°C. Calcule la temperatura de equilibrio térmico.

Cubierta de respuestas

CONSTANTES FISICAS

Número de Avogadro:
$N_0 = 6.02 \times 10^{23}$

Constante de Boltzmann:
$k = 1.38 \times 10^{-23}$ joule/molécula $-$°K

Aceleración de la gravedad cerca de la superficie de la Tierra:
$g = 9.8$ N/kg (m/seg^2)

Constante de Stefan-Boltzmann:
$\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ joule/m^2–seg–(°K)^4
$= 1.35 \times 10^{-8}$ cal/m^2–seg–(°K)^4

Calor de fusión para el agua: 80 cal/g

Calor de evaporación del agua: 540 cal/g

UNIDADES

1 atmósfera (atm) = 76 cm de mercurio = 1.01×10^5 N/m^2

1 cal = 4.186 joules

1 joule = 0.24 cal

ECUACIONES Y FORMULAS

Densidad: $\rho = m/V$

Presión:
$p = F/A$

Presión hidrostática:
$p = \rho gh$

Ley de Boyle:
$pV = k$, o bien $p_1V_1 = p_2V_2$

Ley de Charles:
$V/T = k$, o bien $V_1/T_1 = V_2/T_2$

Ley del gas ideal:
$pV = NkT$

Ecuación de Stefan-Boltzmann:
$E/t = e\sigma AT^4$

Conductividad térmica:

$$Q = \frac{kAt(T_2 - T_1)}{d}$$

Eficiencia de una máquina térmica:

$$\text{eficiencia} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - T_2/T_1$$

Cantidad de movimiento:

$\vec{p} = m\vec{v}$

Energía cinética:
$E = \frac{1}{2}mv^2$

Trabajo:

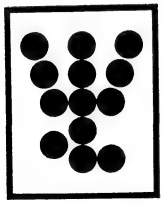
$\vec{F} \cdot \vec{d} = |\vec{F}|\ |\vec{d}|\ \cos\theta$

$\theta = \overset{\wedge}{F,d}$

FISICA PROGRAMADA

Alexander Joseph y Daniel J. Leahy

VOLUMEN I: Mecánica
VOLUMEN II: Electricidad y Magnetismo
VOLUMEN III: Optica y Ondas
VOLUMEN IV: Teoría Cinética y Termodinámica
VOLUMEN V: Tópicos de Física Moderna



Serie Limusa Wiley de
LIBROS PROGRAMADOS

Versión autorizada en español de la obra
publicada en inglés por John Wiley & Sons
bajo el título:
PROGRAMMED PHYSICS
PART IV: Kinetic Theory and Thermodynamics
© 1967 by John Wiley & Sons, Inc. New York

Versión española:
OSCAR WECKMANN

Revisión:
FIS. LORENZO RAZO MORALES
Investigador de la División de Química
Investigación Científica Aplicada,
Instituto Mexicano del Petróleo.

Derechos reservados en lengua española:
© 1973, EDITORIAL LIMUSA-WILEY, S. A.
Arcos de Belén Núm. 75, México 1, D. F.

Miembro de la Cámara Nacional de la
Industria Editorial. Registro Núm. 121.

Primera edición: 1973

Impreso en México

Esta obra se terminó de imprimir el día 27 de enero de 1973, en los talleres de *Unión Gráfica, S. A.*, Av. División del Norte 1521, México 13, D. F. La edición consta de 3 000 ejemplares y sobrantes para reposición.

Obras afines:

FISICA FUNDAMENTAL,
Segunda edición
Orear

MANUAL PROGRAMADO DE
FISICA FUNDAMENTAL
Orear

FUNDAMENTOS DE TERMODINAMICA
Van Wylen y Sonntag

FUNDAMENTOS DE FISICOQUIMICA
Maron y Prutton

FISICOQUIMICA
Eggers, Gregory, Halsey y Rabinovitch

EXPERIMENTOS DE FISICOQUIMICA
Uzquiza

FISICA
Parte 1 CINEMATICA Y DINAMICA
Parte 2 ENERGIA
Parte 3 ONDAS Y LUZ
Comité para la Enseñanza de la Física
(CEF)

EJEMPLAR Nº 1333

He aquí el cuarto volumen de la obra que ya se considera clásica porque fue el primer curso programado completo de Física de primer año de licenciatura o último año de bachillerato. La preparación de este programa tardó cuatro años y sus autores lo desarrollaron a través de un proceso de esmeradas y constantes revisiones, a base de los resultados obtenidos con los estudiantes de distintos cursos, al probar el programa en clase.

Este programa le permitirá al lector dominar los temas básicos de la Física, proporcionándole la información nueva en el orden correcto, para que la estudie al ritmo que mejor le convenga. Lo induce a participar activamente en el proceso del aprendizaje, contestando preguntas, resolviendo problemas y verificando inmediatamente sus respuestas.

La obra consta de cinco volúmenes que son: I, Mecánica; II, Electricidad y Magnetismo; III, Optica y Ondas; IV, Teoría Cinética y Termodinámica y V, Tópicos de Física Moderna.